

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



PROYECTO FIN DE CARRERA

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL:
ELECTRICIDAD**

**“Consumo de energía eléctrica en el sector industrial:
cemento, química y papel”**

AUTOR: Javier Villanueva Regidor

TUTOR: Fernando Soto Martos

Contenido

Introducción:	4
Objetivos:	4
I.- DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	5
1.1.- Introducción:	6
1.2.- Descripción del sistema eléctrico español	7
1.3.- Evolución de la demanda a lo largo del tiempo:	9
1.4.- Demanda en verano y en invierno:	12
1.4.1.- Curva característica de invierno	13
1.4.2.- Curva característica de verano	16
1.5.- Cobertura de la demanda:	19
II. DEMANDA INDUSTRIAL	21
2.2.-Desglose de la demanda nacional:	22
2.3.-Desglose de la demanda industrial en los distintos sectores de la industria:	23
III.- DEMANDA EN SECTORES INDUSTRIALES.....	25
3.1.- Introducción	26
3.2.- Conceptos:.....	26
3.3.- Sector cemento:.....	28
3.3.1.- Proceso tecnológico de elaboración del cemento.....	28
3.3.2.- Composición del cemento	30
3.3.3.- Demanda eléctrica en el sector cemento:	33
3.4.- Sector papel.....	38
3.4.1.- Proceso de fabricación del papel:.....	38
3.4.2.-Demanda eléctrica en el sector papel	43
3.5.- Industria química:	46
3.5.1.- Introducción	46
3.5.2.- Ejemplo de proceso en industria química: Fabricación del PVC.....	48
3.5.3.-Sector químico.....	54
IV.- SIMULACIÓN DEL EFECTO DE CADA TIPO DE DEMANDA.....	59
4.- Aplicación Informática	60
4.1.- Introducción:	60
4.2.-Descripción y Funcionamiento:	60
4.3.- Ejemplo:.....	62
5.- Simulaciones.....	65
5.1.- Introducción	65
5.2.- Influencia de cada tipo de consumo en la demanda:.....	65
5.2.1.- Influencia del consumo de las cementeras	66

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

5.2.2.- Influencia del consumo de las papeleras	68
5.3.- Influencia del consumo de plantas de distinto tipo conjuntamente	70
Conclusiones:	71
Recursos de información:	73
ANEXO A: Esquemas de los procesos de fabricación del clínker	75

Introducción:

La demanda eléctrica de cualquier sistema es un fiel reflejo de la actividad económica del mismo, tanto es así que se recurre con frecuencia a la curva de la demanda eléctrica de dicho sistema, su fiabilidad a la hora de hacer comparaciones o hacer estudios sobre la evolución de una determinada actividad económica o industrial a lo largo del tiempo.

El motivo del presente proyecto fin de carrera es la realización de un estudio sobre la demanda eléctrica de algunos de los sectores industriales españoles, en concreto los sectores del cemento, del papel y el de la industria química. Previamente y como marco de referencia, para situar la demanda industrial, en una primera parte se comenzará con una descripción de la curva de la demanda nacional: su forma, sus componentes y los factores que le afectan.

Posteriormente, en la segunda parte, se centrará el estudio en una de las componentes de la demanda: la componente industrial. Se tratará su importancia en la demanda total y, de forma general, como se reparte esta fracción de la energía entre los distintos sectores que la componen.

En el tercer bloque se describirán con más detalle los tres sectores industriales: cemento, papel y química. Para el estudio de la demanda eléctrica de cada sector industrial, previamente se hará una breve descripción de los procesos de fabricación de cada uno de ellos para, de esta forma, intentar comprender mejor la forma de cada una de sus curvas. Además, se analizará la evolución de su actividad en los últimos años, utilizando como herramienta sus consumos eléctricos.

A continuación con una aplicación informática desarrollada para el proyecto, se simularán las curvas de estos sectores con el objetivo de explicar y analizar su impacto en la demanda nacional.

Finalmente, se comentarán las conclusiones del proyecto, tanto técnicas, asociadas a los estudios y análisis realizados, como de desarrollo personal.

Objetivos:

El objetivo principal del proyecto es realizar un estudio de la demanda eléctrica de determinados sectores industriales: cemento, papel y química. A partir de este estudio, que incluye un análisis de los procesos industriales, se tratará de explicar qué factores intervienen en dicho consumo eléctrico, y que acciones se podrían llevar a cabo para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.

Como objetivo secundario, se desarrollará una aplicación informática que simule los consumos de los sectores industriales a estudiar y poder comprobar el impacto que surtiría en el sistema.

I.- DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1.- Introducción:

La demanda eléctrica es constantemente variable en el tiempo, lo que acarrea una dificultad a la hora de predecirla ya que depende de muchos tipos de factores. Los gestores técnicos del sistema deben anticiparse previendo cual va a ser la energía requerida por el sistema, por lo que se hace necesario un estudio de cada una de las variables que impactan en la curva de demanda para reducir la incertidumbre. En general, la demanda eléctrica de un sistema es muy dependiente de la actividad económica del país, viéndose modificada por otras variables que tienen su peso específico.

Las otras variables que junto con la actividad económica, principal variable explicativa de la demanda eléctrica, se han de tener en cuenta son:

- Temperatura ambiente, que varía a corto plazo, debido por ejemplo al consumo que se deriva de la utilización de equipos de climatización. Su impacto puede ser significativo, si la temperatura ambiente es muy distinta de la del año anterior.
- Laboralidad, que cambia la forma de la curva aunque no hay evidencias de que la demanda crezca o decrezca a lo largo de los años. Esta variable mide el impacto del efecto calendario, festividades, puentes, etc. Su impacto no es muy significativo.
- Estacionalidad, que hace que la demanda sea distinta de unos meses a otros. La forma de consumir en verano es muy distinta de la de invierno, por ejemplo.

Si se filtran de la curva de la demanda estas tres componentes, la demanda resultante, demanda corregida, muestra cómo evoluciona la actividad económica del sistema en cuestión. La curva resultante se conoce como SEDE y se define como *señal de actividad económica en la demanda eléctrica*. La SEDE y el PIB (Producto Interior Bruto) guardan relación, aunque no siempre es constante¹. Esta señal tiene a su vez dos componentes:

- Coyuntura, que refleja cambios en la demanda derivados de ajustes de la economía a corto plazo
- Tendencia, que refleja el impacto sobre la demanda eléctrica del crecimiento y transformación de sistemas productivos y de los hábitos sociales del país.

¹ Extraído del Proyecto INDEL, de Red Eléctrica de España

1.2.- Descripción del sistema eléctrico español

El sistema eléctrico español consta de cuatro bloques bien diferenciados: Generación, transporte, distribución y comercialización.

Generación:

En España, en 2010, hay instalados 96.858 MW² de generación que se desglosan a continuación

Tipo de generación	Potencia Instalada (MW)
Régimen ordinario	63834
Hidráulica	16657
Nuclear	7716
Carbón	11359
Fuel/Gas	2860
Ciclo combinado	25242
Régimen especial	33024
Eólica	19390
Resto R.E.	13634

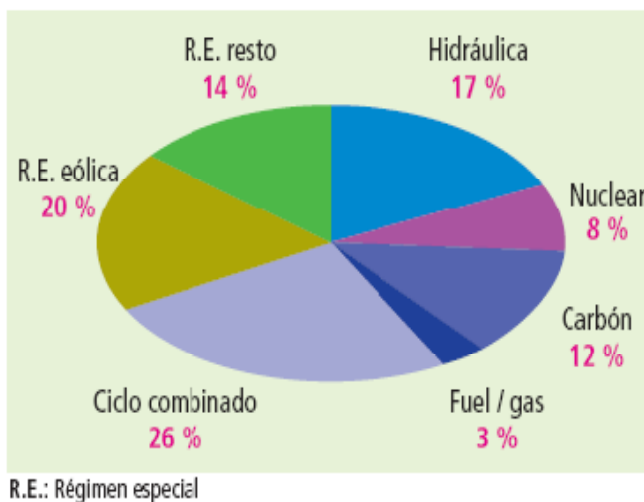


Figura 1.1.- Estructura de la generación en España. Potencia instalada de cada uno de los tipos en MW y en %. Extraído del “Boletín mensual Septiembre de 2010” de Red Eléctrica de España.

La mayoría de la potencia instalada reside en las centrales de ciclo combinado. Estas centrales se consideraron una opción adecuada para complementar a las centrales nucleares después de la moratoria nuclear.

La energía hidráulica tiene un alto porcentaje de la potencia instalada en el país; el problema de estas centrales es que no pueden suministrar esta potencia durante mucho tiempo ya que, en algunos tipos dependen del agua embalsada.

La energía eólica es un tipo de generación creciente, pero su carácter impredecible hace que su disponibilidad no esté garantizada.

Transporte y distribución

El transporte de energía eléctrica se realiza mediante casi 35000 km de circuito de 400 y 220 kV. La red de distribución está constituida por mas de 500.000 km de BT y AT, hasta el 132 kV.

La red de transporte tiene como objetivo la transmisión de energía eléctrica por la red interconectada con el fin de suministrarla a los distribuidores o, en su caso, a los consumidores

² A 30 de septiembre de 2010. Boletín mensual Septiembre de 2010 de Red Eléctrica de España.

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

finales. La componen las líneas de 400 y 220 kV, las interconexiones internacionales y las interconexiones entre el sistema peninsular y el extrapeninsular.

La distribución la componen aquellas líneas con una tensión nominal inferior a 220 kV y su función es transmitir la energía desde las redes de transporte hasta los puntos de consumo. Según los niveles de tensión, se clasifican en:

- Redes de reparto (132, 66 y 45 kV)
- Redes de media tensión (15 y 20 kV)
- Redes de baja tensión (< 1 kV)

Los cambios de tensiones se realizan a través de subestaciones. En España existen 3385 centros de transformación.

Estos dos sectores del sistema eléctrico son monopolio natural y son gestionados por Red Eléctrica de España (REE), como Operador del Sistema (OS). La red de transporte es propiedad de REE. La red de distribución es propiedad de las empresas eléctricas tradicionales (Endesa, Iberdrola, Unión Fenosa, etc).

Comercialización

Los comercializadores son entidades que se encargan de la compra y venta de energía en el mercado eléctrico. A partir de la liberalización del mercado este sector junto al de la generación quedó accesible a empresas privadas.

1.3.- Evolución de la demanda a lo largo del tiempo:

En valores absolutos, la demanda en el sistema eléctrico peninsular ha tenido unos valores que se reflejan en la siguiente tabla:

Demanda de energía desde 2005 hasta 2009

	2005		2006		2007		2008		2009	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Enero	22.477	9,1	23.461	9,2	24.168	9,2	24.444	9,2	23.639	9,4
Febrero	21.004	8,5	21.262	8,3	21.190	8,1	22.554	8,5	20.754	8,2
Marzo	21.069	8,5	21.927	8,6	22.574	8,6	22.323	8,4	20.810	8,2
Abril	19.113	7,7	18.687	7,3	20.263	7,7	21.499	8,1	19.134	7,6
Mayo	19.253	7,8	20.380	8,0	20.865	7,9	20.956	7,9	19.553	7,7
Junio	20.605	8,3	20.861	8,2	21.094	8,0	21.088	8,0	20.477	8,1
Julio	21.657	8,8	23.054	9,0	22.867	8,7	23.244	8,8	22.666	9,0
Agosto	19.680	8,0	20.616	8,1	21.130	8,0	21.732	8,2	21.417	8,5
Septiembre	19.596	7,9	20.839	8,2	20.921	8,0	21.084	7,9	20.772	8,2
Octubre	19.363	7,8	20.448	8,0	21.232	8,1	21.119	8,0	20.408	8,1
Noviembre	20.812	8,4	20.584	8,1	22.524	8,6	22.037	8,3	20.611	8,2
Diciembre	22.676	9,2	22.896	9,0	23.748	9,0	23.150	8,7	22.532	8,9
Total	247.306	100,0	255.015	100,0	262.577	100,0	265.229	100,0	252.772	100,0

Figura 1.2.- Datos de la evolución de la energía anual demandada entre los años 2005-2009 y reparto mensual. Datos extraídos del “Informe anual del sistema eléctrico 2009” de Red Eléctrica

La forma que tienen estos datos en una gráfica es la siguiente:

Evolución de la demanda entre 2005 y 2009 en GWh

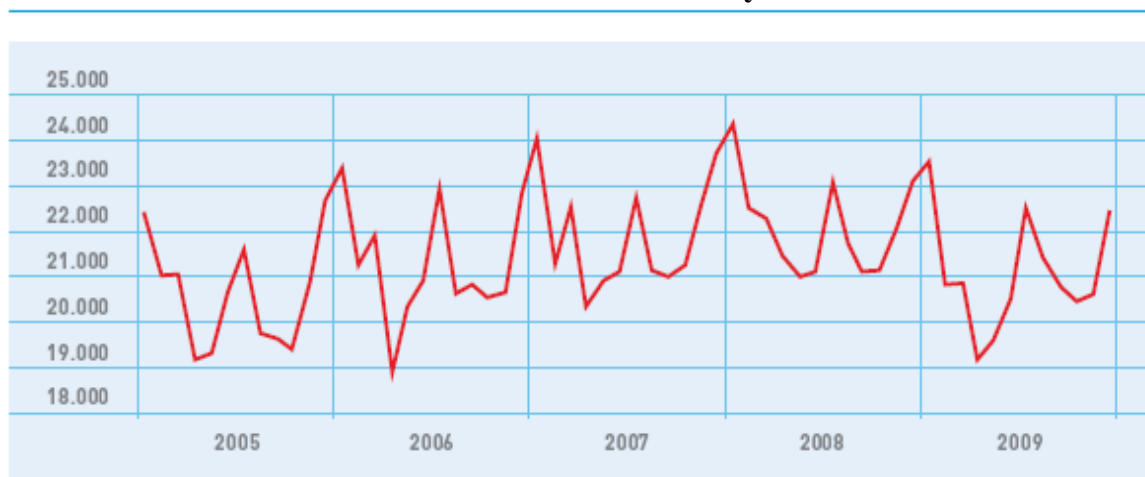


Figura 1.3.- Gráfica donde se representan los datos de la tabla anterior. Extraída del “Informe Anual del sistema eléctrico 2009” de Red Eléctrica

Se puede apreciar que la forma que adquiere la curva a lo largo de los años es similar, (en la tabla se ve que los porcentajes mensuales en los que se reparte la demanda son muy parecidos a lo largo de los años). Los picos más altos de demanda se dan durante los meses de

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

invierno mientras que la demanda en meses de verano es más baja, salvo en el mes de Julio donde es típico un pico más alto de demanda. Estos cambios bruscos suelen deberse a la climatización ya sea por el uso de aparatos de aire acondicionado en verano o calefacciones en invierno.

El crecimiento porcentual de la demanda eléctrica en los últimos años ha seguido la siguiente curva:

Evolución del crecimiento anual de la demanda de energía eléctrica en b.c. (%)

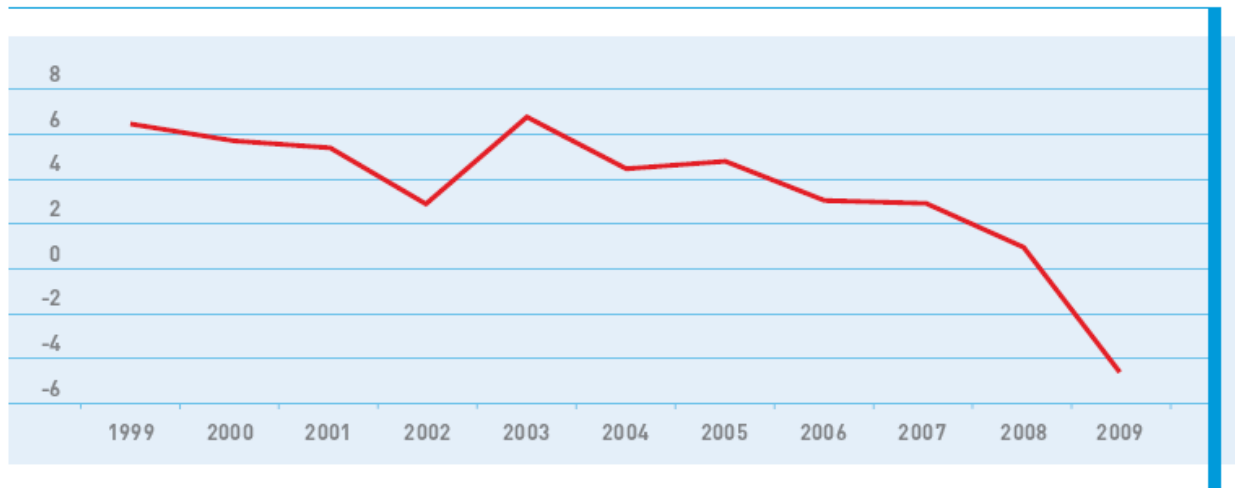


Figura 1.4.- Gráfica donde se muestra la evolución del crecimiento de la demanda desde 1999 hasta 2009.
"Informe anual del sistema eléctrico 2009" de Red Eléctrica

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

Durante los últimos años, hasta 2008, el crecimiento de la demanda ha sido positivo. Entre 2008 y 2009 el crecimiento ha sido negativo, es decir, se ha producido una reducción de la demanda. Los factores que han influido se muestran con más detalle en la siguiente imagen:

Componentes del crecimiento de la demanda mensual durante 2009 (%)

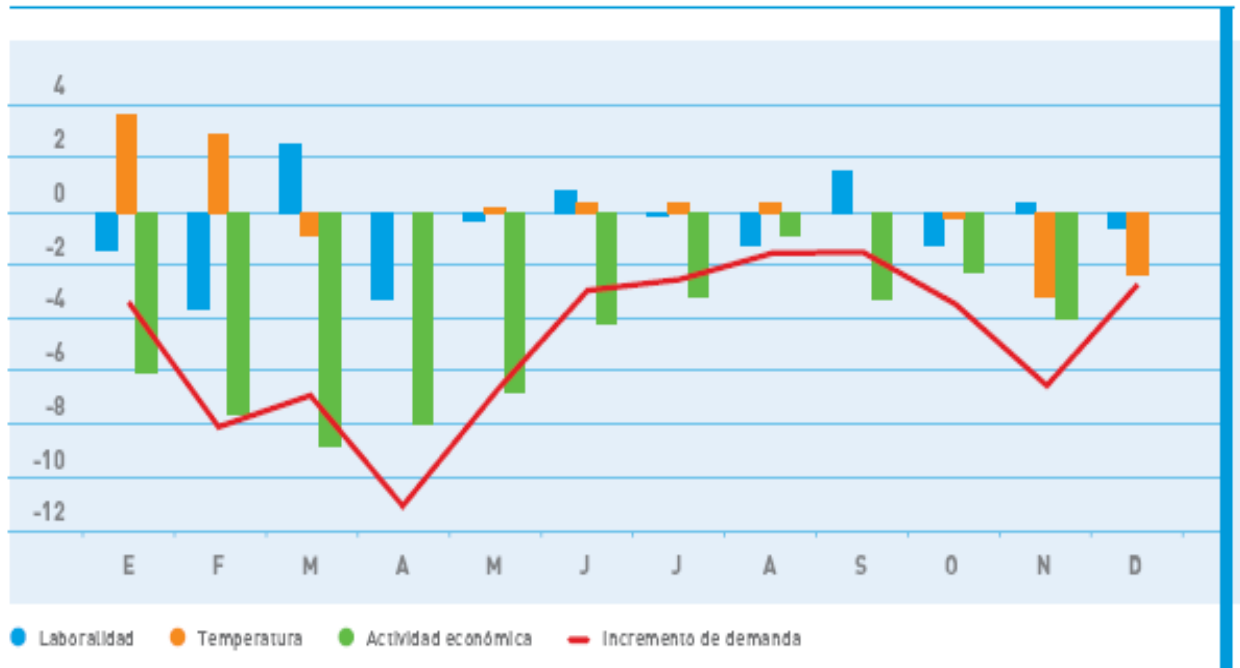


Figura 1.5.- Gráfica donde se muestran las componentes que han influido en el crecimiento negativo de la demanda durante 2009. “Informe anual del sistema eléctrico 2009” de Red Eléctrica

Se aprecia que el factor más importante de este decrecimiento de la demanda en 2009 es la caída de la actividad económica que deriva directamente de la crisis económica que atraviesa el país. Es un claro ejemplo de la relación entre la demanda eléctrica y la situación económica explicada en el epígrafe anterior.

1.4.- Demanda en verano y en invierno:

En el punto anterior se ha visto que la demanda se comporta de forma muy distinta en los meses fríos y en los meses de calor, lo que permite obtener conclusiones y características de la demanda en los meses de invierno (octubre-mayo) y meses de verano (junio-septiembre). De esta forma podemos hablar de pico máximo de demanda en invierno, que hasta la fecha coincide con el pico máximo de demanda en el año, y también podemos hablar de pico de demanda máxima en verano. Estos picos en los últimos años han sido los siguientes:

Máxima demanda de potencia media horaria y de energía diaria

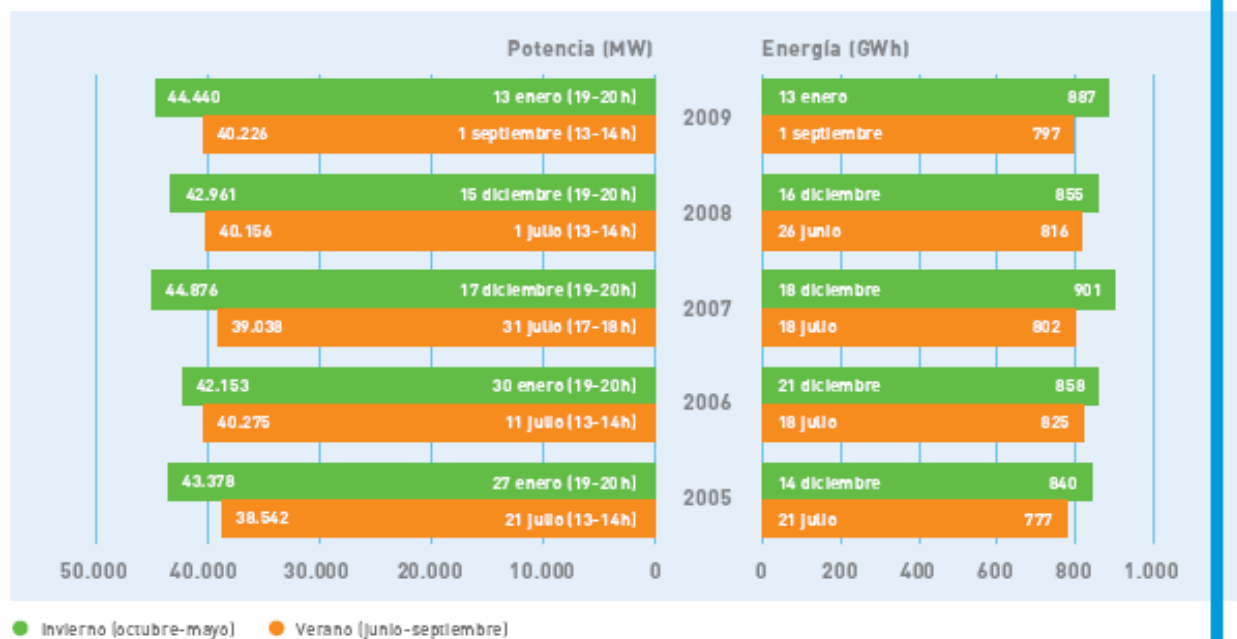


Figura 1.6.- Demanda máxima de potencia y energía, tanto de invierno como de verano, y hora en la que se produjeron. "Informe anual del sistema eléctrico 2009" de Red Eléctrica

1.4.1.- Curva característica de invierno

En la figura 1.7. se representa la curva típica de los meses de invierno. Se ha elegido el día con la demanda más alta del invierno 2009-2010, la del 12 de enero de 2010 donde se alcanzó una demanda de potencia instantánea de 44486 MW a las 18:56 h. Las curvas de invierno se caracterizan por un valle por la noche que alcanza su mínimo sobre las 4-5:00 h de la madrugada. Después, el resto del día vendrá dado por una punta que se caracteriza por tener dos picos, uno alrededor de las 12 del mediodía, seguido de una disminución de demanda para alcanzar el segundo pico, normalmente más alto que el primero, sobre las 18-19:00 h de la tarde. A partir de las 22:00 h de la noche aproximadamente la demanda decrece y entra de nuevo en el valle.

En fines de semana los valores demandados son menores y la forma de la curva es similar al resto de la semana para el caso del sábado, y en el domingo se produce una disminución del primero de los picos, habiendo mayor diferencia de altura entre éste y el segundo que se produce sobre las 21:00 de la noche. En la figura 1.8 se muestra la demanda correspondiente a la semana del 11 al 18 de enero

Curva de demanda del 12/01/2010

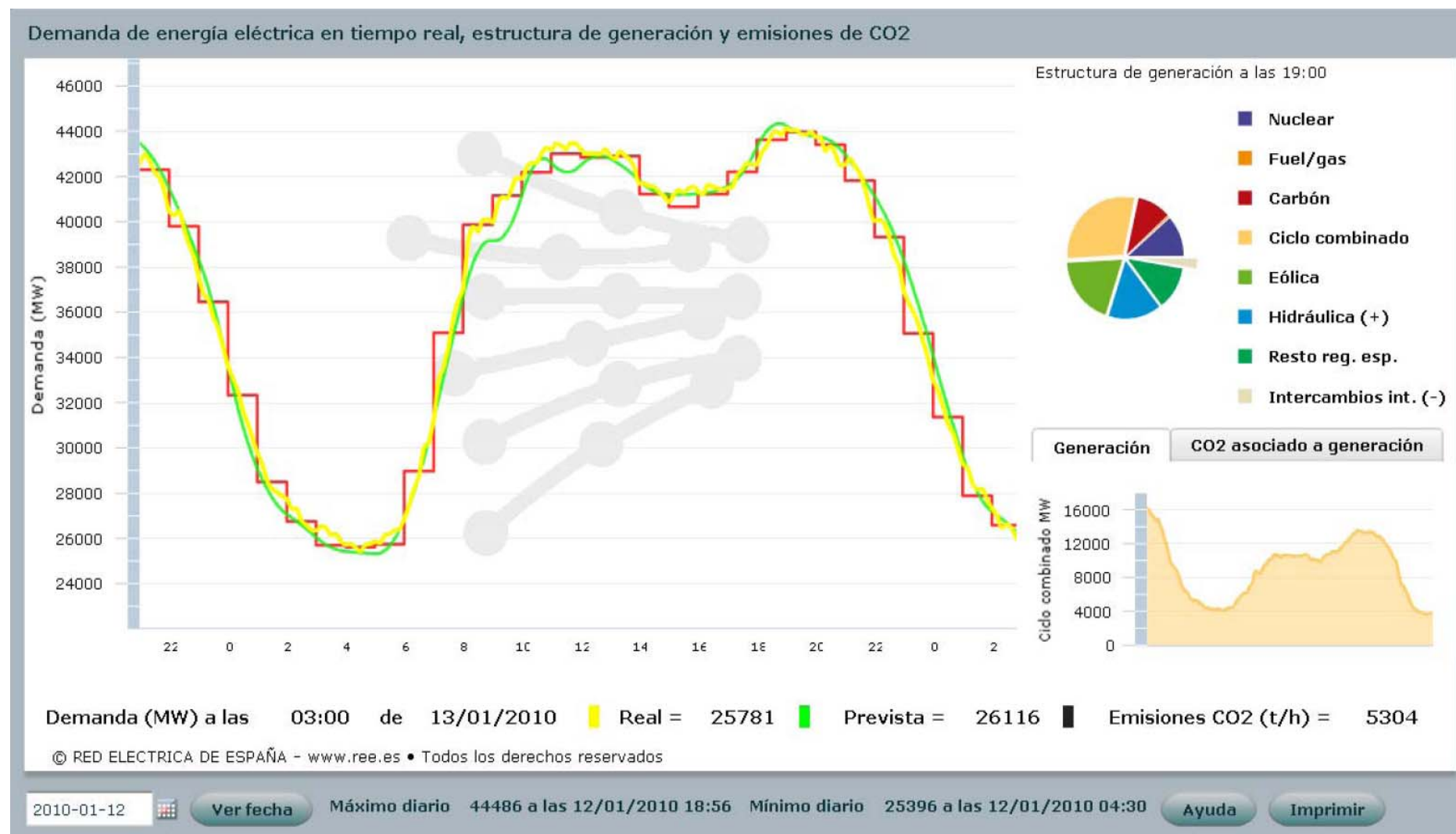


Figura 1.7. Curva de demanda del día 12/01/2010 donde se alcanzó el máximo en el invierno 2009-2010 con 44486 MW de potencia. Extraído de la página web de Red Eléctrica <https://demanda.ree.es/demanda.html>. (Consultado a fecha 1 de septiembre de 2010)

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

Curva de demanda del 11/01/2010 al 17/01/2010

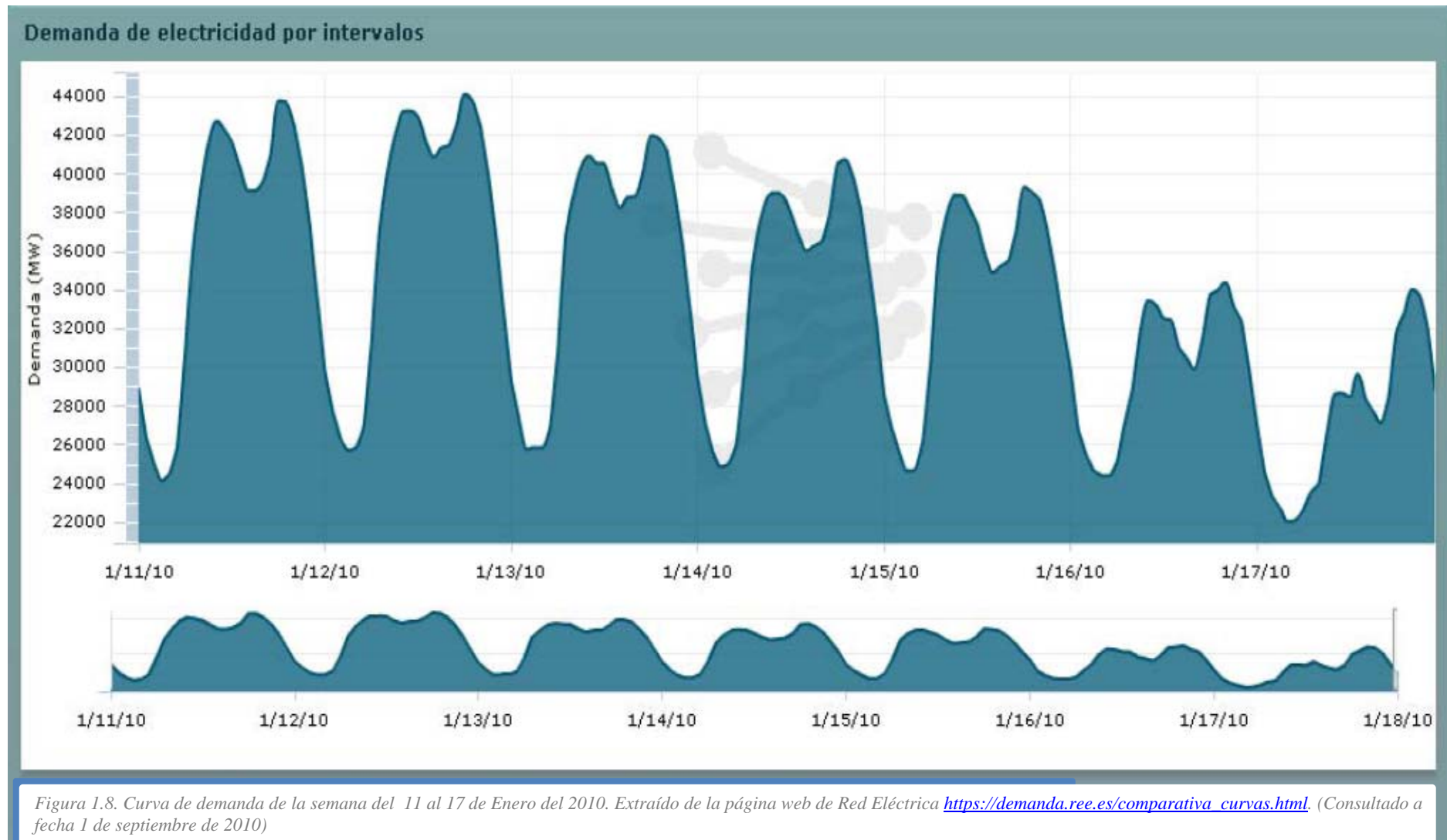


Figura 1.8. Curva de demanda de la semana del 11 al 17 de Enero del 2010. Extraído de la página web de Red Eléctrica https://demanda.ree.es/comparativa_curvas.html. (Consultado a fecha 1 de septiembre de 2010)

1.4.2.- Curva característica de verano

A continuación (Figura 1.9) se muestra la curva de demanda del 19 de Julio de 2010 donde se ha conseguido el nuevo máximo de demanda de verano: 41318 MW a las 13:26 h³.

Las curvas de verano se caracterizan por un valle durante la noche que alcanza un mínimo sobre las 4-5:00 h. A partir de esa hora la demanda crece hasta alcanzar una punta que se suele dar alrededor de las 14:00 del mediodía. La demanda empieza a decaer con una notable rapidez hasta el intervalo de 15 a 17 h donde la pendiente se suaviza para después seguir descendiendo. Sobre las 22:00 h de la noche se produce un breve incremento de demanda al que le sigue una fuerte caída que nos vuelve a situar en el valle

Durante los fines de semana la curva es de forma similar en el caso de los sábados aunque con pendientes algo más suavizadas y valores notablemente menores. En el caso de los domingos los valores son los más bajos de la semana y es típico alcanzar la punta más alta sobre las 22:00 h de la noche y otra punta de valores más bajos hacia las 14:00 h del mediodía. En la figura 1.10 se muestra la semana del 19 al 26 de julio, es decir, la semana donde se alcanzó el máximo.

³ Fuente: Página de Red Eléctrica

http://www.ree.es/sala_prensa/web/notas_detalle.aspx?id_notas=180 consultada a fecha 31 de agosto de 2010

Curva de demanda del 19/07/2010

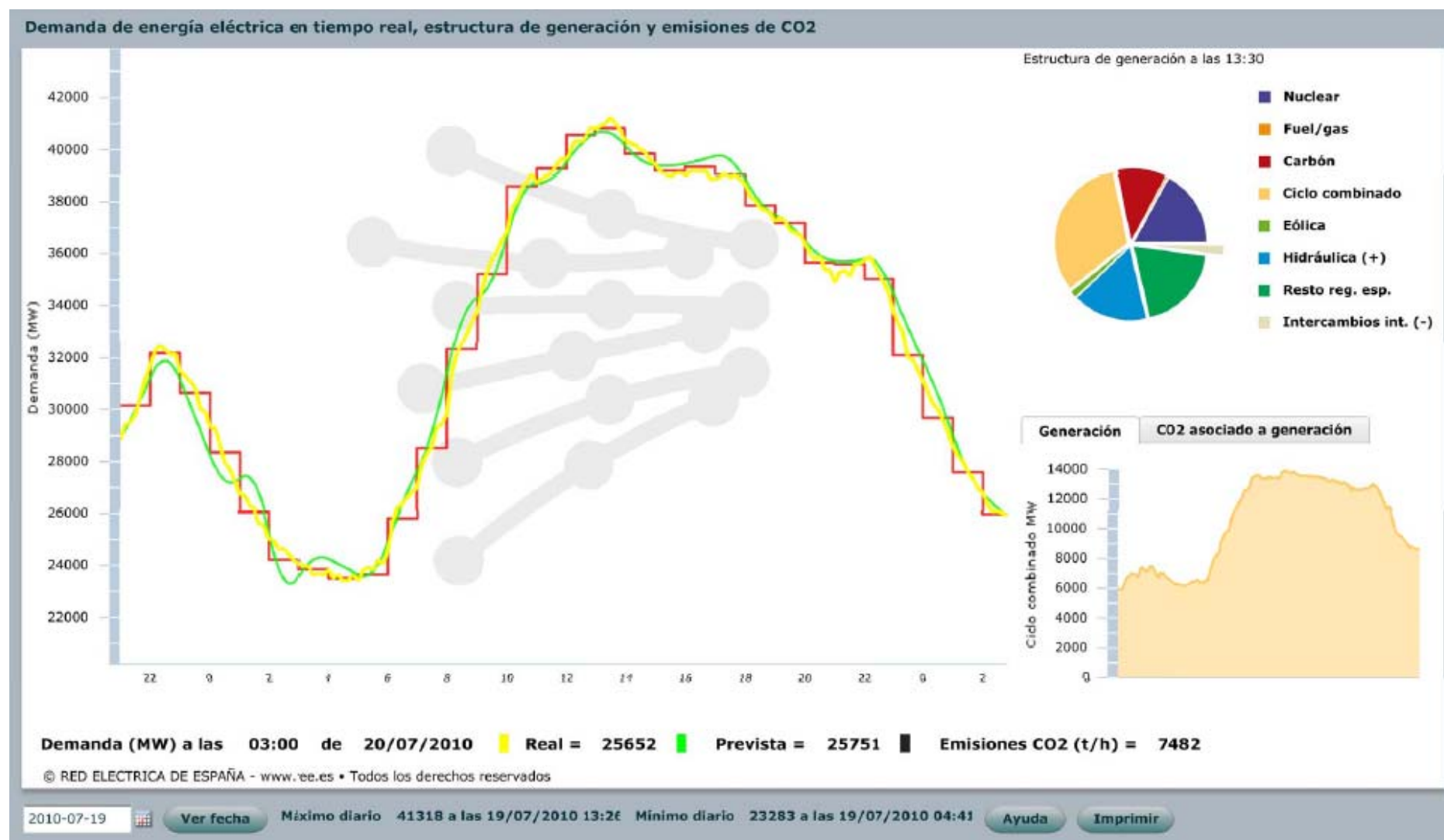


Figura 1.9. Curva de demanda del día 19/07/2010 donde se alcanzó el máximo histórico de verano con 41318 MW de potencia. Extraído de la página web de Red Eléctrica <https://demanda.ree.es/demanda.html>

Curva de demanda del 19/07/2010 al 26/07/2010

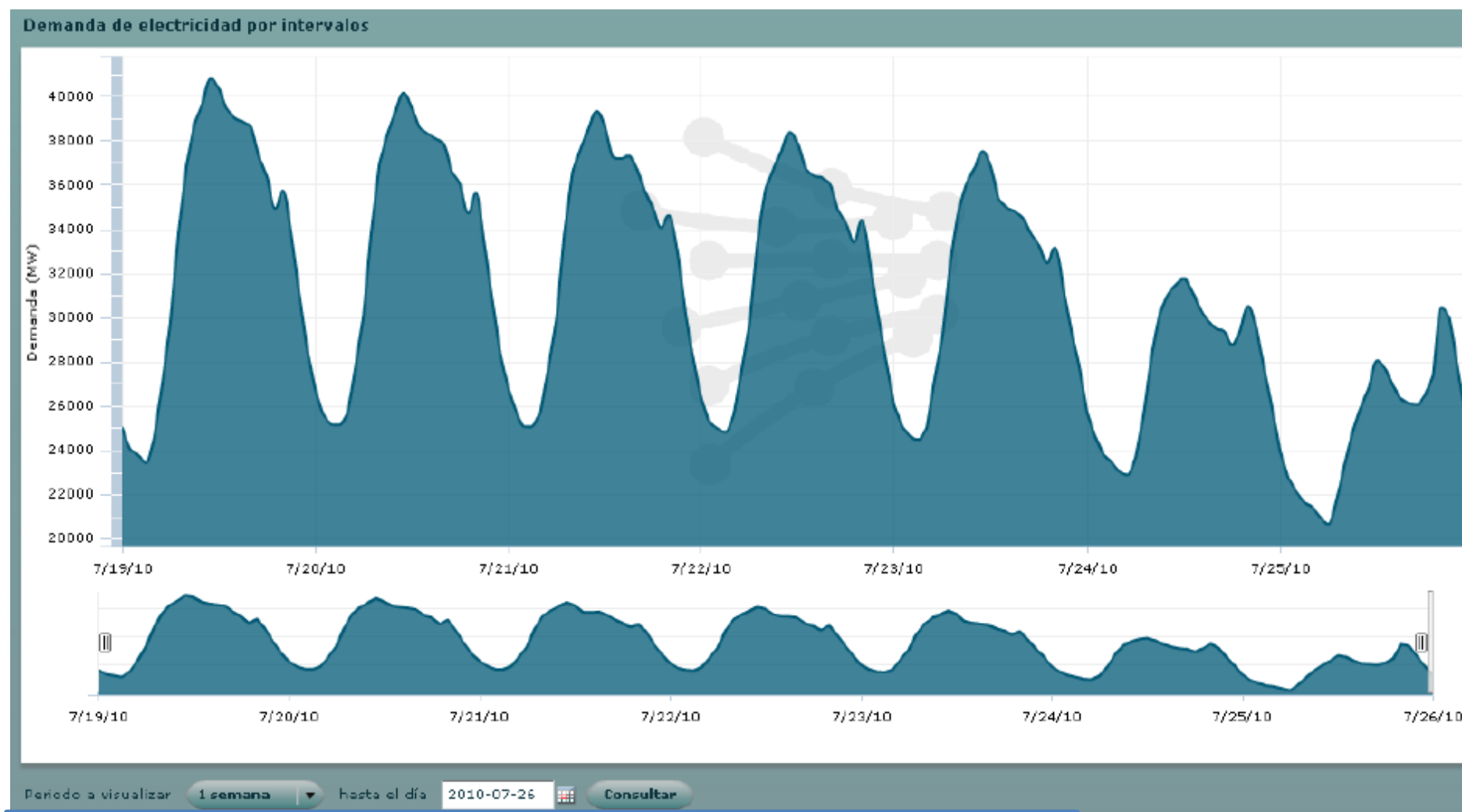


Figura 1.10.- Curva de demanda de la semana del 19 al 26 de Julio del 2010. Extraído de la página web de Red Eléctrica https://demanda.ree.es/comparativa_curvas.html. (Consultado a fecha 31 de agosto de 2010)

1.5.- Cobertura de la demanda:

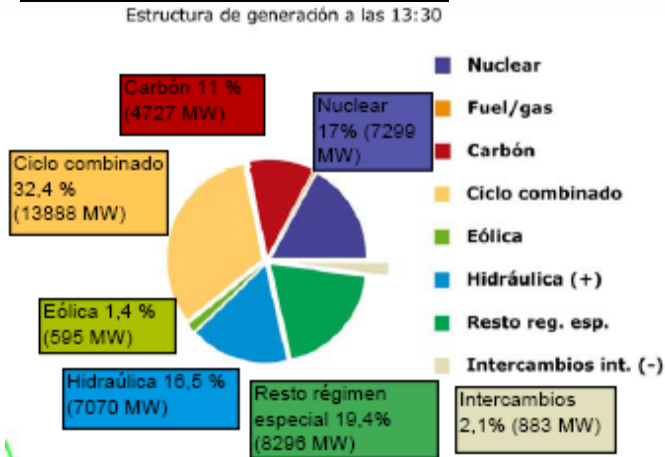


Figura 1.11.A.- Cobertura de la demanda a la 13:30 h (Hora punta) del 19/07/2010. Extraído de la página de Red Eléctrica <https://demanda.ree.es/demanda.html>

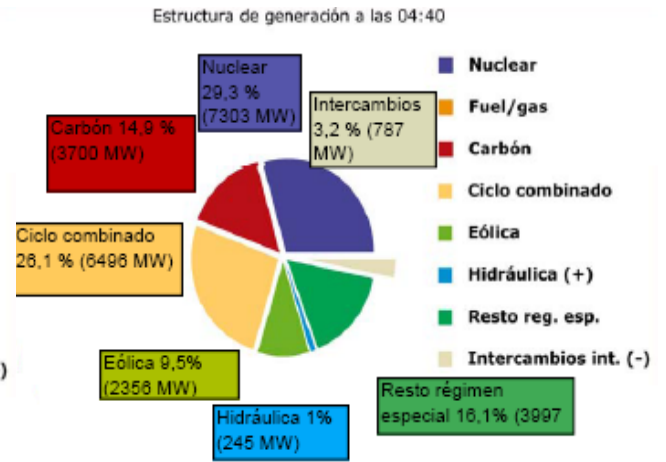


Figura 1.11.B.- Cobertura de la demanda a la 04:40 h (Hora valle) del 19/07/2010. Extraído de la página de Red Eléctrica <https://demanda.ree.es/demanda.html>

Comparando las figuras 1.11.A y 1.11.B para los casos de máxima y mínima demanda, a primera vista se observa una diferencia en la producción hidráulica, por pasar de una importante aportación en punta, a una casi inexistente en valle. Esto se debe a que las centrales hidráulicas tienen una capacidad de respuesta muy rápida por lo que puede variar la producción de energía en un intervalo corto de tiempo. Es por este motivo por lo que se reservan para los períodos donde la demanda crece repentinamente. En intervalo de valle, algunas de estas centrales se dedican a bombear agua al embalse superior para así disponer de agua para la posterior punta además de consumir electricidad en los intervalos de mínima demanda lo que suaviza los cambios de demanda. Otra ventaja del bombeo es que consumen energía cuando el precio es bajo para producir y venderla cuando el precio es más alto, lo que genera unos importantes beneficios económicos a sus propietarios.

La producción de las nucleares españolas es muy constante, tanto en valle como en punta tienen la misma producción, esto se debe a que las centrales nucleares tienen una gran capacidad de producción pero muy poca capacidad de regulación ante las variaciones de demanda.

Dentro de la energía procedente del régimen especial⁴, en particular la obtenida de instalaciones solares y sobre todo en instalaciones eólicas, es una energía impredecible y por ser su recurso la naturaleza se incorporan al sistema de forma prioritaria, adaptando el resto de centrales a la demanda. Tal como se observa en las figuras 1.10A y 1.10B, la generación eólica en horas nocturnas fue mayor pese a encontrarse en un valle de demanda, donde los demás tipos de generación reducen la producción de energía eléctrica o, como el caso de las nucleares, mantienen el ritmo de producción por el motivo mencionado en el párrafo anterior.

Las centrales de carbón y de ciclo combinado se adaptan a la demanda aunque su capacidad de respuesta puede no ser suficiente si la variación es demasiado brusca. Para ello se utilizan las hidráulicas, para dar tiempo a que las centrales térmicas se adapten a la demanda.

⁴ Los productores que forman el régimen especial se recogen en la Ley 54/1997 del 27 de Noviembre en su Título IV, Capítulo II, Artículo 27:

“(…)

Artículo 27. Régimen especial de producción eléctrica.

1. La actividad de producción de energía eléctrica tendrá la consideración de producción en régimen especial en los siguientes casos, cuando se realice desde instalaciones cuya potencia instalada no supere los 50 Mw:

a) Autoprodutores que utilicen la cogeneración u otras formas de producción de electricidad asociadas a actividades no eléctricas siempre que supongan un alto rendimiento energético.

b) Cuando se utilice como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante, siempre y cuando su titular no realice actividades de producción en el régimen ordinario.

c) Cuando se utilicen como energía primaria residuos no renovables.

También tendrá la consideración de producción en régimen especial la producción de energía eléctrica desde instalaciones de tratamiento y reducción de los residuos de los sectores agrícola, ganadero y de servicios, con una potencia instalada igual o inferior a 25 MW, cuando supongan un alto rendimiento energético.

2. La producción en régimen especial se regirá por sus disposiciones específicas y, en lo no previsto en ellas, por las generales sobre producción eléctrica en lo que le resulten de aplicación.

La condición de instalación de producción acogida a este régimen especial será otorgada por los órganos correspondientes de las Comunidades Autónomas con competencia en la materia. (...)”

Los productores acogidos en este régimen reciben una prima adicional regulada por el Real Decreto 661/2007, dependiendo de la categoría a la que pertenecen según la clasificación que se encuentra en el mismo documento.

Fuente: <http://www.boe.es/boe/dias/2007/05/26/pdfs/A22846-22886.pdf>

http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1997-25340

II. DEMANDA INDUSTRIAL

2.1.-Introducción:

La demanda industrial engloba a los grandes consumidores del sistema eléctrico que se alimentan de alta tensión. Dado que las puntas y valles de la demanda residencial son difíciles de desplazar debido a los hábitos cotidianos de las personas, se intenta mediante incentivos económicos que las industrias consuman en intervalos de demanda baja, es decir, por las noches y fines de semana principalmente. No siempre será posible situar la demanda industrial en los intervalos deseados, ya sea por motivos de funcionamiento de determinadas plantas industriales, cuya eficiencia es mayor trabajando de forma continua, o bien porque a la empresa no le compensa la reducción que obtendría del precio de la electricidad frente a otros posibles gastos que conllevaría la decisión de trabajar por la noche como, por ejemplo, añadir mano de obra para un turno de noche. Las plantas industriales que disponen de grandes consumidores eléctricos cuyo funcionamiento se puede aplazar son las que suelen aprovecharse de esta reducción de precio de la energía.

El patrón de consumo de estas industrias se caracteriza por un mayor consumo por las noches y en fines de semana. Las ventajas de este tipo de consumo eléctrico son tanto para el sistema eléctrico como para el consumidor. Para el sistema eléctrico porque rellena valles con una energía que podría haberse situado en punta, lo cual significaría unos cambios más bruscos en la generación lo que directamente nos llevaría a un aumento de costes y por lo tanto, un aumento en el precio final de la energía. Además para satisfacer una mayor punta de demanda se necesitaría una mayor potencia instalada para generar la energía y mejoras en la red de transporte para llevar una mayor potencia con las menores pérdidas posibles. Para el consumidor industrial, no hay que olvidar que la electricidad es una materia prima, una reducción del precio de la electricidad puede llevar a una mayor competitividad en el mercado global.

2.2.-Desglose de la demanda nacional:

El reparto de energía eléctrica en el año 2008 fue el siguiente:

	TWh		%
Industrial	108,0		41,7
Residencial	67,6		26,1
Servicios	60,5		23,4
Transporte	7,1		2,7
Hostelería	11,2		4,3
Otros	4,5		1,7
TOTAL	259,0		100

Figura 2.1.- Reparto de energía en España peninsular en el año 2008. Datos obtenidos de la página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
<http://www.mityc.es/energia/balances/Publicaciones/ElectricasAnuales/Paginas/ElectricasAnuales.aspx>

que representados en una gráfica:

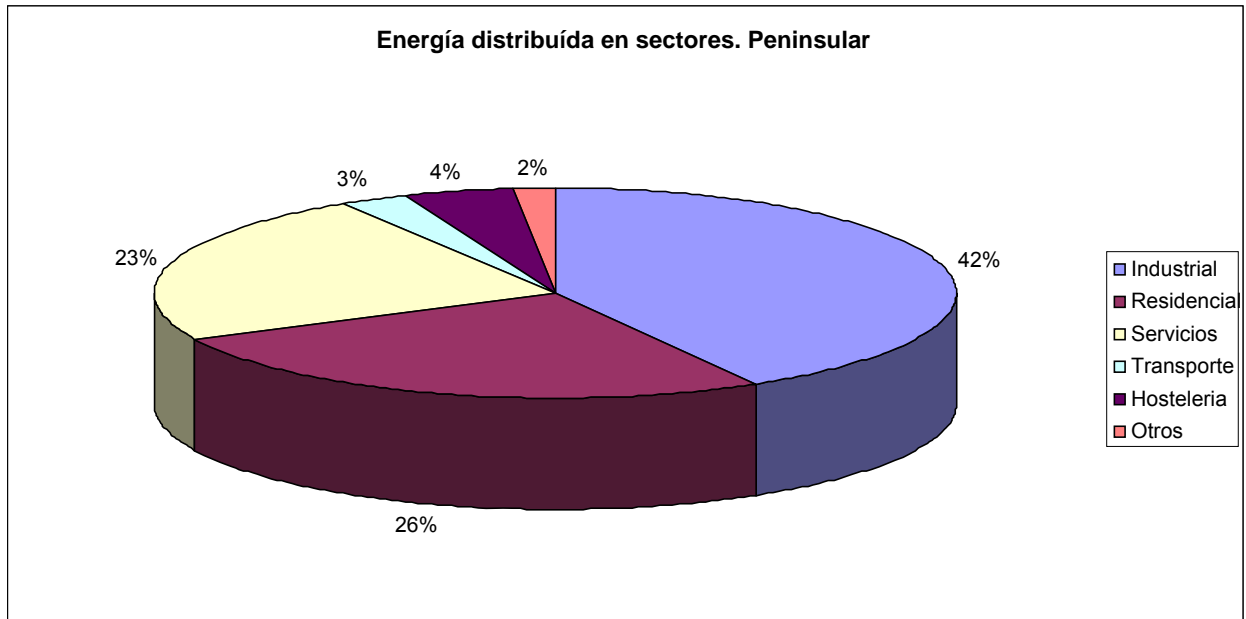


Figura 2.2.- Gráfico del reparto de energía en España peninsular en el año 2008. Datos obtenidos de la página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

<http://www.mityc.es/energia/balances/Publicaciones/ElectricasAnuales/Paginas/ElectricasAnuales.aspx>

La energía en la península se reparte mayoritariamente entre el sector industrial, el residencial y el sector servicios, abarcando prácticamente el 90 % del total del consumo.

La energía consumida fuera de la península es una mínima parte de la demanda nacional (en torno al 5%) y su componente industrial es muy baja comparada con la demanda industrial peninsular por lo que no se tendrá en cuenta

2.3.-Desglose de la demanda industrial en los distintos sectores de la industria:

Como se ha representado anteriormente, la industria constituye un consumo de electricidad que supone alrededor del 40 % de la demanda total. Aunque como se ha indicado anteriormente, el consumo eléctrico va ligado a la actividad económica por lo que este porcentaje ha descendido debido a los problemas económicos que atraviesa el país actualmente. En este apartado se desglosará la demanda industrial en los sectores que la componen para ver la participación de cada uno de ellos y más tarde centrarnos en algunos de ellos más concretamente.

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

Según los datos obtenidos en la página del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, la demanda eléctrica industrial en 2008 ascendió a casi 110 TWh de los cuales aproximadamente el 80% se repartieron entre los siguientes sectores:

SECTOR	ENERGÍA EN 2008 (TWh)
SIDERURGIA Y FUNDICION	18,0
QUIMICA Y PETROQUIMICA	11,5
ALIMENTACION, BEBIDAS Y TABACO	10,7
METALURGIA NO FERREA	10,5
MAQUINAS Y TRANSFORMADOS METALICOS	6,8
PASTAS PAPELERAS, PAPEL, CARTON, MANIPULADOS	6,8
IND. CAUCHO, MAT. PLASTICAS Y OTRAS NO ESPECIFICADAS	6,7
AGRICULTURA, GANADERIA, SILVICULTURA, CAZA Y PESCA	5,7
OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCION (LOZA, PORCELANA, REFRACTARIOS, ETC.)	4,8
CEMENTO, CALES Y YESOS	4,4
RESTO	21,9

Figura 2.3.- Tabla del reparto de la demanda eléctrica industrial en 2008 entre los sectores de mayor consumo en España. Datos obtenidos de la página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. <http://www.mityc.es/energia/balances/Publicaciones/ElectricasAnuales/Paginas/ElectricasAnuales.aspx>

Se aprecia en la tabla que entre los cuatro primeros sectores se reparten casi la mitad de la energía consumida en la industria (un 45% aproximadamente).

La actividad del sector cemento ha tenido un brusco descenso debido a la disminución del ritmo de construcción de estos últimos años, pero aún así es uno de los sectores con una importante demanda eléctrica. La evolución futura de la construcción y de la obra pública definirá su nivel de producción, que difícilmente alcanzará el obtenido en 2006.

El sector papel, España es el sexto productor en Europa tanto de celulosa como de papel, y es un sector con tendencia expansiva aunque la evolución de los mercados energéticos le condiciona notablemente. Factores como la desaparición de tarifas industriales, la cogeneración y los retos y oportunidades que plantea la biomasa definirán el futuro del sector y su competitividad frente a los mercados internacionales.

El sector químico es uno de los de mayor extensión en la industria, el cuarto por detrás de alimentación, metalurgia y material de transporte. El 80 % de la actividad del sector químico se ubica en Madrid, Andalucía, País Vasco, Valencia y Cataluña, concentrándose el 45% en esta última Comunidad Autónoma.

III.- DEMANDA EN SECTORES INDUSTRIALES

3.1.- Introducción

Dentro de los consumos eléctricos de cada sector encontraremos distintos tipos de patrones. Algunos de ellos tendrán un consumo prácticamente constante a lo largo del día y a lo largo de la semana, son los denominados planos; otros consumirán dependiendo del precio que tenga la energía a lo largo del día, donde habrá un mayor consumo en las horas donde la energía es más barata; son los que modulan. Durante los fines de semana habrá sectores donde el consumo permanezca igual que el resto de la semana y otros sectores donde se aprecie una disminución de actividad.

A continuación se presentarán los patrones de consumos de los sectores de cemento, química y papel, lo que nos dará una idea de cómo evoluciona la actividad de estas industrias a lo largo del tiempo. Para ello, es importante conocer el significado de los distintos indicadores utilizados.

3.2.- Conceptos:

- **Índice de producción:** Indicador que muestra la relación entre la producción de un período determinado con respecto a la producción de otro período equivalente tomado como base. Sirve para ver la evolución que ha sufrido la producción entre estos periodos. Los índices que se obtienen en este estudio proceden del INE (Instituto Nacional de Estadística) y toman como base la producción del año 2000 = 100.
- **Índice de precios:** Indicador que muestra la evolución del nivel general de precios entre un período tomado como base y otro período determinado. Los índices que se obtienen en este estudio proceden del INE (Instituto Nacional de Estadística) y toman como base el nivel general de precios del año 2000 = 100.
- El número de empresas, el empleo, la inversión material y el resultado bruto de explotación se han tomado de la Encuesta Industrial de Empresas (EIAE) del INE correspondiente al año 2007. A partir de los datos de la EIAE se ha calculado el valor de la producción en términos nominales de cada sector, que se ha convertido en términos reales mediante el índice de precios del correspondiente sector.
- Los datos de importaciones y exportaciones provienen de las estadísticas de comercio exterior de Aduanas e Impuestos Especiales.
- El consumo aparente se ha calculado como la suma de la producción en términos nominales más las importaciones menos las exportaciones.
- La productividad laboral aparente se ha calculado como el cociente entre el VAB (Valor Añadido Bruto) y el número de ocupados de la EIAE.
- Períodos tarifarios: Dependiendo del nivel de tensión, las tarifas de acceso a redes se aplican dividiendo el día en un número determinado de períodos. En el Real Decreto 1164/2001 de 26 de Octubre se recogen los tipos de tarifas (art. 7) y los períodos tarifarios (art. 8). Para el caso de alta tensión se resume lo siguiente:

Períodos tarifarios para Alta Tensión

Periodo Tarifario	Tipo de Día			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
1	De 16 a 22 h			
2	De 8 a 16 h y De 22 a 24 h			
3		De 9 a 15 h		
4		De 8 a 9 h y De 15 a 24 h		
5			De 8 a 24 h	
6	De 0 a 8 h	De 0 a 8 h	De 0 a 8 h	De 0 a 24 h

Figura 3.1.- Tabla donde se indica el número de horas de cada período según el tipo de día. Imagen obtenida de la página de CNE: <http://www.cne.es/cne/doc/consumidores/peaies.pdf>

Siendo:

Días de tipo A: De lunes a viernes no festivos de temporada alta

Días de tipo B: De lunes a viernes no festivos de temporada media

Días de tipo C: De lunes a viernes no festivos de temporada baja, excepto agosto en el sistema peninsular y el mes correspondiente de mínima demanda en cada uno de los sistemas aislados extrapeninsulares. Dicho mes se fijara por la Dirección General de Política Energética y Minas)

Días de tipo D: Sábados, domingos y festivos y agosto en el sistema peninsular y el mes de menor demanda en cada uno de los sistemas aislados extrapeninsulares. Dicho mes se fijara por la Dirección General de Política Energética y Minas).

Las temporadas alta, media y baja serán:

i) Para península:

Temporada alta: meses de noviembre, diciembre, enero y febrero

Temporada media: meses de marzo, abril, julio y octubre

Temporada baja: meses de mayo, junio, agosto y septiembre

ii) Para Baleares, Ceuta y Melilla:

Temporada alta: meses de junio, julio, agosto y septiembre

Temporada media: meses de enero, febrero, octubre y diciembre

Temporada baja: meses de marzo, abril, mayo y noviembre

iii) Para Canarias:

Temporada alta: meses de diciembre, enero, febrero y marzo

Temporada media: meses de abril, septiembre, octubre y noviembre

Temporada baja: meses de mayo, junio, julio y agosto

3.3.- Sector cemento:

3.3.1.- Proceso tecnológico de elaboración del cemento

1.- Obtención y preparación de las materias primas

El proceso de fabricación del cemento comienza con la extracción de las materias primas que se encuentran normalmente en canteras a cielo abierto. El método para explotar estas canteras depende del tipo del material extraído: Para materiales duros como calizas y pizarras, se utilizan voladuras controladas mientras que para materiales blandos, como arcillas y mangas, se utilizan excavadoras.

Las materias primas para la fabricación del cemento se pueden clasificar en dos tipos, dependiendo de su función en el proceso:

Un aporte de carbonato: generalmente calizas o margas. Son las encargadas de aportar el CaO que luego reaccionará en el horno para formar los silicatos que son los componentes realmente activos en el clínker⁵.

Un aporte de fundentes: generalmente arcillas o pizarras. Son las encargadas de aportar los óxidos que funcionan como fundentes y que contribuyen a la formación de fase líquida en el horno facilitando las reacciones.

El material se tritura para obtener un tamaño de grano adecuado y se transporta mediante cintas transportadoras o camiones hasta la fábrica para su almacenamiento en el parque de homogeneización.

2.- Homogeneización y molienda de crudo

Una vez en el parque, el material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. La prehomogeneización permite preparar la dosificación adecuada reduciendo la variabilidad.

Posteriormente, estos materiales se muelen en molinos verticales o de bolas para reducir su tamaño y favorecer así su cocción en el horno. En el molino vertical se tritura el material a través de la presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria. A partir de ahí, la materia prima (harina o crudo) se almacena en un silo para incrementar la uniformidad de la mezcla.

3.- Precalentador de ciclones

En función de cómo se procesa el material antes de su entrada en el horno, se distinguen cuatro tipos de procesos de fabricación:

- Vía seca: La materia prima se introduce en el horno en forma seca y pulverulenta
- Vía semi-seca: El material de alimentación se consigue añadiendo agua al material obtenido en la molienda de crudo. Se obtienen gránulos con un 15-20% de humedad que son

⁵ “Caliza cocida. Esa es la definición más exacta de lo que se conoce como clínker, la principal materia prima de la que se obtiene el cemento.” Periódico Sur digital Miércoles 9 de Agosto de 2006
http://www.diariosur.es/prensa/20060809/malaga/clinker_20060809.html

depositados en parrillas móviles a través de las cuales se hacen circular gases calientes provenientes del horno. Cuando el material alcanza la entrada del horno, el agua se ha evaporado y la cocción ha comenzado

- Vía semi-húmeda: Similar al proceso vía semi-seca con la diferencia de se elimina agua en el material obtenido en la molienda, en lugar de añadirse.
- Vía húmeda: Este proceso se utiliza para materias primas con alto contenido de humedad. El material de alimentación se prepara mediante molienda conjunta del mismo con agua, resultando una pasta con contenido de agua de un 30-40% que es alimentada en el extremo más elevado del horno de clinker.

En la actualidad, la mayoría de cementeras españolas utilizan la vía seca debido a que este proceso está probado como el más eficiente energéticamente ya que requiere hasta un 50% menos de energía que el proceso de vía húmeda. La alimentación al horno se realiza a través del precalentador de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción. La harina o crudo (materia prima molida) se introduce por la parte superior de la torre y va descendiendo por ella. Mientras tanto, los gases provenientes del horno, que están a altas temperaturas, ascienden a contracorriente, precalentando así el crudo que alcanza los 1000°C antes de entrar al horno.

Los esquemas de estos procesos se encuentran en el Anexo A al final del documento.

4.- Horno

A medida que la harina va avanzando en el interior del horno, mientras este rota, la temperatura va aumentando hasta alcanzar los 1500°C. A esta temperatura se producen complejas reacciones químicas que dan lugar al clinker.

Para alcanzar las temperaturas necesarias para la cocción de las materias primas y la producción de clinker, el horno cuenta con una llama principal que arde a 2000°C. En algunos casos, también hay una llama secundaria situada en la cámara de combustión, que se encuentra en la torre del precalentador. Estas llamas se alimentan con combustibles tradicionales, como el carbón o el coque de petróleo, o alternativos como los neumáticos o los lodos de depuradora.

5.- Enfriador

A la salida del horno, el clinker debe sufrir un rápido enfriamiento con el fin de que no se reviertan las reacciones que acaban de producirse. Este enfriamiento se produce mediante aire que se calienta y posteriormente se utilizará en la combustión.

Dependiendo de las necesidades de producción el clinker puede pasar al molino o bien almacenarse en un silo.

6.- Molienda

Una vez obtenido, el clinker se mezcla con yeso y adiciones (cenizas volantes y escoria siderúrgica) en proporciones adecuadas dentro de un molino de cemento. En su interior los materiales se muelen, se mezclan y se homogeneizan.

Los molinos pueden ser de rodillos (horizontales y verticales) o de bolas. Este último consiste en un gran tubo que rota sobre sí mismo y que contiene bolas de acero en su interior que colisionan entre sí, triturando el clinker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo: el cemento

Las distintas calidades del cemento se obtienen con la adición de materiales como escorias de alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales, cenizas volantes y caliza, que le permiten alcanzar determinadas características para su uso que se establecen en la reglamentación vigente.

7.- Expedición

Por último, el cemento se almacena en silos, separados según sus clases, antes de ser ensacado o descargado en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril.

3.3.2.- Composición del cemento

Existen dos tipos de componentes desde el punto de vista de su proporción:

- Componentes principales: Usados en una proporción mayor al 5%
- Componentes minoritarios: Usados en una proporción inferior al 5%

A continuación se describen los componentes utilizados acompañados de una letra que se emplea para su identificación en la nomenclatura de los tipos de cemento.

Caliza (L)

Especificaciones:

- $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masa.
- Contenido de arcilla $< 1,20 \text{ g}/100 \text{ g}$.
- Contenido de carbono orgánico total (TOC) $\leq 0,50\%$ en masa.

Caliza (LL)

Especificaciones:

- $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masa.
- Contenido de arcilla $< 1,20 \text{ g}/100 \text{ g}$.
- Contenido de carbono orgánico total (TOC) $\leq 0,20\%$ en masa.

Cenizas volantes calcáreas (W)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volante calcárea es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas y/o puzolánicas.

Composición: SiO_2 reactivo, Al_2O_3 , Fe_2O_3 y otros compuestos.

Especificaciones:

- CaO reactivo $> 10,0\%$ en masa si el contenido está entre el $10,0\%$ y el $15,0\%$ las cenizas volantes calcáreas con más del $15,0\%$ tendrán una resistencia a compresión de al menos $10,0 \text{ Mpa}$ a 28 días
- SiO_2 reactivo $\geq 25\%$
- Expansión (estabilidad) $\leq 10 \text{ mm}$
- Pérdida por calcinación $\leq 5,0\%$ en masa si está entre el $5,0\%$ y $7,0\%$ en masa (pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al hielo, y la compatibilidad con los

aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización)

Cenizas volantes silíceas (V)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volante silícea es un polvo fino de partículas esféricas que tiene propiedades puzolánicas.

Composición química: SiO_2 reactivo, Al_2O_3 , Fe_2O_3 y otros compuestos.

Especificaciones:

- (SiO_2) reactivo $\geq 25\%$
- CaO reactivo $< 10,0\%$ en masa
- CaO libre $< 1,0\%$ en masa si el contenido es superior al $1,0\%$ pero inferior al $2,5\%$ es también aceptable con la condición de que el requisito de la expansión (estabilidad) no sobrepase los 10 mm
- Pérdida por calcinación $< 5,0\%$ en masa si el contenido está entre el $5,0\%$ y $7,0\%$ en masa pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al al hielo, y la compatibilidad con los aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización.

Clínker (K)

El clínker de cemento portland es un material hidráulico que se obtiene por sintetización de una mezcla especificada con precisión de materias primas (crudo, pasta o harina).

Composición química: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y otros compuestos.

Especificaciones:

- $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) \geq 2,0$
- $\text{MgO} \leq 5,0\%$
- $3\text{CaO}.\text{SiO}_2 + 2\text{CaO}.\text{SiO}_2 \geq 2/3$

Clínker Aluminato de Calcio

El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos (SiO_2 , TiO_2 , S=, SO_3 , Cl-, Na_2O , K_2O , etc.). El componente mineralógico fundamental es el aluminato monocálcico ($\text{CaO} \text{ Al}_2\text{O}_3$).

Escoria granulada de horno alto (S)

La escoria granulada de horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto.

Composición química: CaO , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 y otros compuestos.

Especificaciones:

- Fase vítrea $\geq 2/3$
- $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 \geq 2/3$
- $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2) > 1,0$
-

Esquistos calcinados (T)

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800°C y finamente molido presenta propiedades hidráulicas pronunciadas, como las del cemento Portland, así como propiedades puzolánicas.

Composición: SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y otros compuestos.

Especificaciones:

- Resistencia a compresión a 28 días $\geq 25,0$ MPa
- La expansión estabilidad ≤ 10 mm

NOTA: Si el contenido en sulfato SO_3 del esquisto calcinado excede el límite superior permitido para el contenido de sulfato en el cemento, esto debe tenerse en cuenta por el fabricante del cemento reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

Humo de Sílice (D)

El humo de Sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas.

Especificaciones:

- SiO_2) amorfo $\geq 85\%$
- Pérdida por calcinación $\leq 4,0\%$ en masa
- Superficie específica BET) $\geq 15,0$ m²/g

Puzolana natural (P)

Las puzolanas naturales son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias de composición silíceas o silico-aluminosas o combinación de ambas, que finamente molidos y en presencia de agua reaccionan para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia.

Composición química: SiO_2 reactivo, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO y otros compuestos.

Especificaciones: SiO_2 reactiva $> 25\%$

Puzolana natural calcinada (Q)

Las puzolanas naturales calcinadas son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

Composición química: SiO_2 reactivo, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO y otros compuestos.

Especificaciones: SiO_2 reactiva $> 25\%$

3.3.3.- Demanda eléctrica en el sector cemento:

A)- Evolución de las principales magnitudes

	Unidades	1993	1998	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Tasas de variación interanual						
										98/93	03/98	2004	2005	2006	2007	2008
Índice de producción	Índice	59,1	83,2	113,0	114,3	117,3	124,6	124,1	93,0	40,8	35,8	1,2	2,6	6,2	-0,4	-25,1
Índice de precios	Índice	80,9	97,3	108,4	110,2	114,8	123,5	131,8	136,1	20,3	11,4	1,7	4,2	7,6	6,7	3,3
Total empresas	Número	196	211	362	139	141	173	198								
Empleo	Número	10.248	9.554	10.372	10.019	10.107	10.710	11.431								
VAB sector/VAB total industria	(%)	1,0	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5								
Producción en términos nominales	M euros	1.355	2.204	3.451	3.700	4.126	5.069	5.629								
Producción en términos reales(**)	M euros	1.674	2.266	3.384	3.358	3.594	4.105	4.271								
Importación	M euros	--	--	318	353	493	598	748	418			11,3	30,4	21,4	25,1	-44,1
Exportación	M euros	--	--	135	139	154	155	168	197			3,1	10,7	0,5	8,4	17,3
Consumo aparente	M euros	--	--	3.634	3.915	4.464	5.513	6.209								
Resultado bruto explotación	M euros	354	799	1.136	1.183	1.333	1.576	1.693								
Inversión material	M euros	137	63	302	398	259	384	455								
Gastos de personal/VAB	(%)	47,7	31,5	31,2	30,6	27,8	27,0	27,1								
Productividad laboral aparente	miles euros	66,0	122,1	159,2	170,3	183	202	203								

Fuente: Encuesta Industrial, IPI e IPRI del INE, Cámaras de Comercio y Subdirección Gral. de Estudios y Planes de Actuación del MITYC.

(**) Deflactado por el IPRI sectorial

Figura 3.2.- Datos de la evolución del sector cementero entre los años 1993 y 2008. Extraído de las fichas sectoriales 2009 del ministerio de Industria, Turismo y Comercio

El índice de producción sigue una creciente subida hasta el año 2006-07 donde la producción se mantiene en su máximo valor. Aquí se refleja el brusco parón que tuvo el sector de la construcción lo que significó el repentino descenso de la producción de materiales de construcción. Además de fabricar mucho menos cemento, los índices de importación y exportación muestran un nivel de importación que desciende casi a la mitad con respecto al año anterior y un aumento de las exportaciones. Es decir, se fabricó mucho menos y el producto se destinó tanto al mercado nacional como al internacional. El cambio de dirección del crecimiento de la demanda en tan poco tiempo supuso un exceso de la producción, por lo que lógicamente se dejó de importar y se intentó exportar. Este exceso de producción también se aprecia en el menor crecimiento del índice de precios que, aunque positivo, va disminuyendo desde 2006 donde alcanzó su máximo.

En la figura 3.3 se reflejan estos datos. Se observa a simple vista en el gráfico de comercio exterior la evolución del mismo y el cambio brusco de tendencia que sufre en el año 2007.

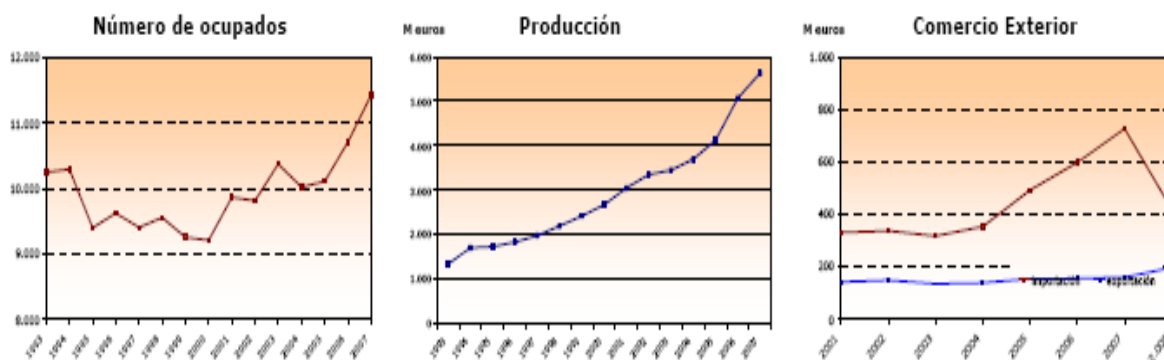


Figura 3.3.- Gráficas que muestran la evolución de la ocupación, producción y comercio exterior en el sector cemento desde el año 1993 hasta el año 2007 extraído de las fichas sectoriales 2009 del ministerio de Industria, Turismo y Comercio

B) Situación del sector:

- En España existían, en 2009, 36 centros productivos repartidos por toda la geografía nacional.

- Hasta el año 2006 la producción del cemento ha ido creciendo, siendo la producción en este año un 6,2% mayor que el anterior. En 2007 se produce una leve disminución del 0,4 % y es en 2008 donde la producción cae un 25%. Esta caída repercute de lleno en la importación del producto que hasta 2007 describía un aumento lineal para después caer un 44% en un solo año. Las exportaciones en cambio experimentan una crecida del 17%. Estas variaciones se deben a la crisis sufrida por el sector de la construcción. En la figura se representa la evolución del consumo eléctrico del sector, un parámetro que refleja de manera fiable la actividad del sector:

- La producción en 2009 sigue decayendo a un ritmo similar al del 2008

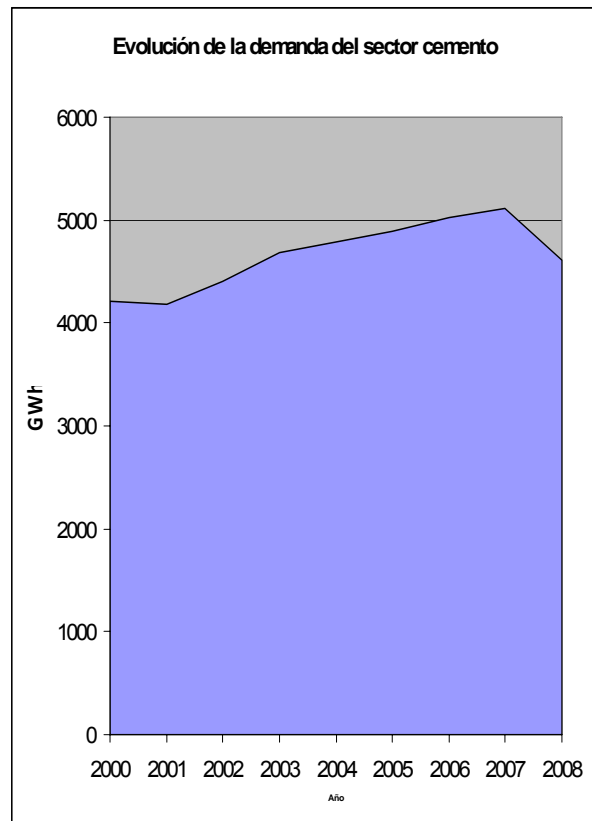


Figura 3.4.- Evolución de la demanda eléctrica en el sector cementero que refleja la actividad del sector entre el 2000 y el 2008. Datos obtenidos de la página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

C) Demanda eléctrica en sector cemento:

En el proceso de producción del cemento, el mayor consumo de energía se produce en los molinos. El funcionamiento de éstos puede ser interrumpido de forma que suele molerse en intervalos de valle donde la energía es más barata. A continuación se muestra el patrón de consumo semanal típico de una cementera:

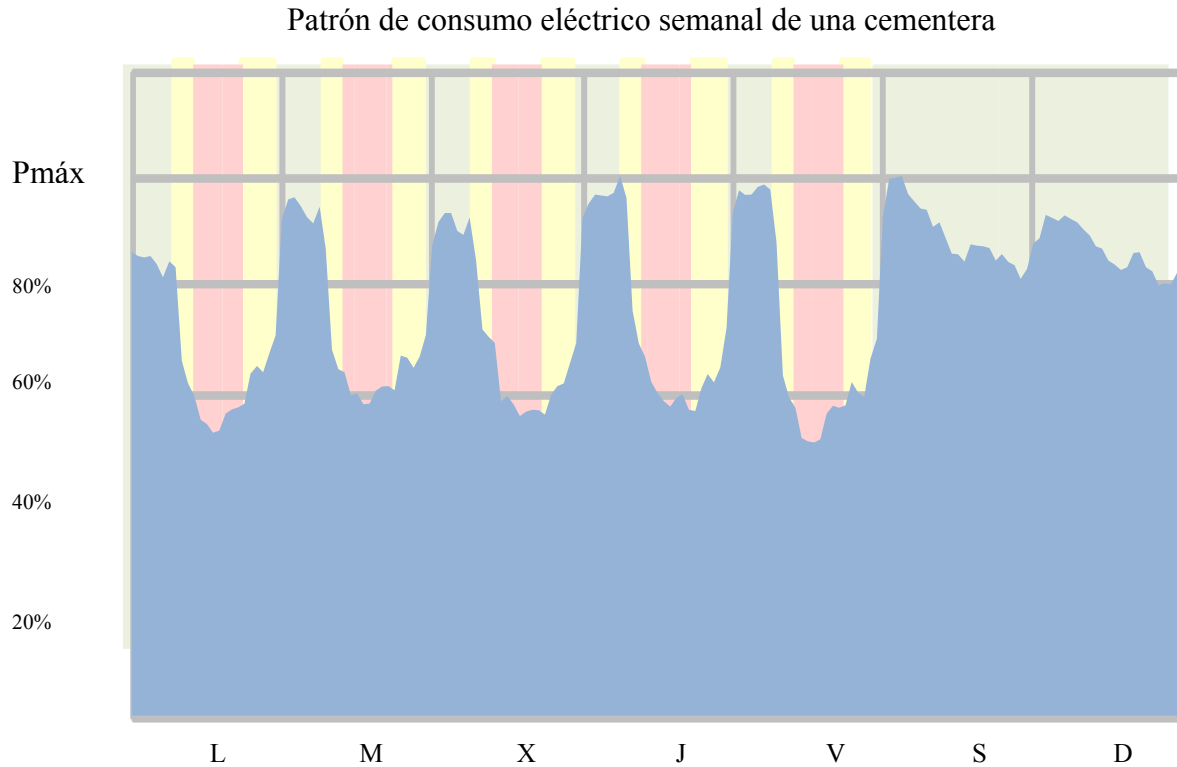


Figura 3.5.- Gráfico donde se muestra el consumo semanal de una cementera. En colores se muestran los períodos de tarificación: P1 rojo, P2 amarillo y P6 verde

En la forma de la gráfica de la figura 3.5 se puede observar que el consumo de lunes a viernes se sucede de forma prácticamente periódica. Si ampliamos uno de los días para ver con más detalle la curva a lo largo de las 24 h:

- Durante la primera fase del día, hasta las 8 de la mañana, la cementera trabaja a su ritmo más elevado posible aprovechando que la energía es más barata ya que nos encontramos en el período tarifario 6 donde el precio de la energía es menor.
- Durante la hora siguiente, la demanda decrece. Esto quiere decir que los molinos empiezan a parar en un intervalo de horas en el que la demanda global del sistema aumenta al igual que el precio de la energía.
- A partir de esta hora, y hasta las 18-19 h de la tarde nos encontramos en zona de punta en la demanda del sistema por lo que la actividad de los grandes consumidores de una cementera, molinos fundamentalmente, tienen una actividad nula.

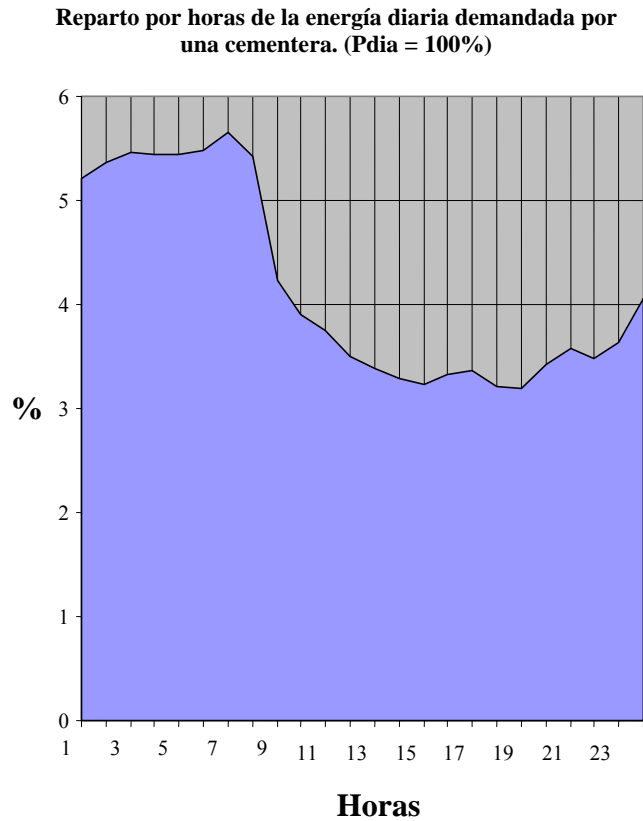


Figura 3.6.- Ampliación del jueves de la demanda de la semana representada en la gráfica de la figura 3.5

Durante el fin de semana la curva tiene un aspecto algo más constante:

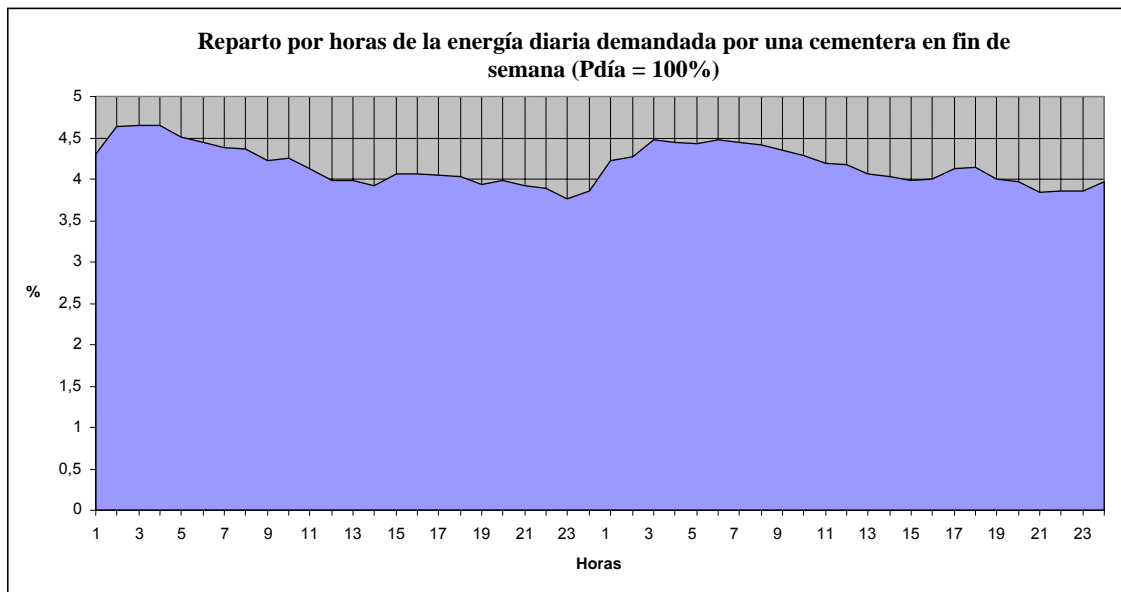


Figura 3.7.- Ampliación del sábado y domingo de la demanda de la semana representada en la gráfica de la figura 3.5

- Durante el fin de semana el período de tarificación es P6. Por lo general, el consumo residencial aumenta durante el fin de semana, pero el consumo del sector industrial decrece notablemente dado que no todos los sectores tienen actividad durante el fin de semana. Este fenómeno es aprovechado por otros sectores como, es el caso, el del cemento. Este aumento se aprecia sobre todo durante el día, aunque no llega a los niveles nocturnos donde el nivel de demanda es similar al del resto de la semana

3.4.- Sector papel

3.4.1.- Proceso de fabricación del papel:

Constitución de los vegetales:

Todos los vegetales, especialmente los leñosos, están constituidos en aproximadamente un 90% de celulosa y lignina; el resto de la composición la completan el agua, grasas, resinas, ceras y sustancias minerales.

La celulosa es la estructura fibrosa y constituye los tejidos que sostienen el vegetal. La lignina es un polímero no lineal que a modo de cemento aglomera esas fibras y fijan su posición.

Composición química de la madera

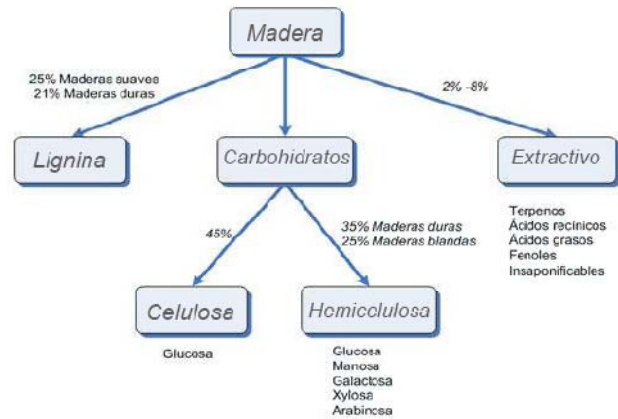


Figura 3.8.- Esquema con la composición aproximada de la madera. Extraído de <http://www.textoscientificos.com/papel/estructura-madera>

Obtención de materias primas:

El proceso de fabricación comienza con la tala de árboles, de donde se obtiene el 95% del papel fabricado. Estos árboles se descortezan ya que la corteza contiene poca fibra, tiene una gran cantidad de sustancias extractivas, es oscura y acarrea grandes cantidades de tierra; todas estas razones hacen que la corteza no sea válida para la transformación en papel por lo que se quemará y se empleará para producir el vapor necesario para producir el papel y el tronco descortezado se llevará a una trituradora que corta los troncos en trozos más pequeños.

Obtención de la pasta

El siguiente trato de estos trozos de madera depende del tipo de pasta que se quiere conseguir, ya sea mecánica, química o una mezcla entre las dos.

- Pasta mecánica

La finalidad del tratamiento mecánico de la madera es la disgregación y separación física de las fibras. La forma más aceptada de conseguirlo es el desbaste de los trozos de madera triturados mediante el efecto abrasivo de una gran piedra cilíndrica que gira a gran velocidad.

El grado de desfibrado puede regularse en función de la velocidad de giro, del tipo de superficie de la piedra y de la presión de la madera contra ella. Durante el desfibrado se añade agua para suavizar el frotamiento de la operación y arrastrar las fibras separadas. Después, se añade una mayor cantidad de agua para formar una pulpa fácilmente manejable.

Las pastas obtenidas por este procedimiento contienen prácticamente todas las sustancias presentes en la madera por lo que tienen una coloración muy intensa. Para atenuarla la somete

a un tratamiento de blanqueo mediante agua de cloro resultando una pasta bastante clara apta para la laminación de papel prensa o cartones.

La fabricación de pastas mecánicas tiene las ventajas de no consumir vapor y de dar elevados rendimientos

- Pastas químicas

Para la producción de pastas químicas, el siguiente proceso por el que pasarán los trozos de madera astillada será el proceso de cocción. En este proceso la madera se introduce en una especie de depósito llamado “lavadora” donde se cuece la madera a una temperatura de 150° y se trata con un agente químico solubilizante de la lignina y en muchos casos, parte de la celulosa.

Hay dos tipos de métodos: ácidos y alcalinos:

Métodos alcalinos: Se emplean masivamente en la actualidad y son dos principalmente:

Método a la sosa: Es el proceso más antiguo y el más simple. Especialmente indicado para maderas de tipo frondoso aunque también útil para las resinosas. Produce pastas formadas por fibras cortas y fácilmente blanqueables.

Método al sulfato: Es una variación del método a la sosa igualmente aplicable a todos los tipos de madera. Produce la llamada “pasta Kraft” muy útil para la fabricación de todo tipo de papeles.

Métodos ácidos: El método más usado es el método al bisulfito, empleado para la obtención de celulosa muy pura útil incluso para aplicaciones químicas. Sólo es aplicable a maderas no resinosas.

Blanqueo

El blanqueo de la pasta es un proceso dirigido en varias etapas mediante el cual se refina y aclara la pasta en bruto. El objetivo es disolver, en el caso de la pasta química, o modificar, en el caso de la pasta mecánica, la lignina que no se eliminó en el proceso de elaboración de la pasta. Una fábrica produce pasta por encargo variando el orden, la concentración y el tiempo de reacción de los agentes blanqueantes.

Cada etapa del blanqueo se define por su agente blanqueante, el pH, la temperatura y la duración. Entre etapas la pasta se debe lavar con agentes caústicos para eliminar los agentes blanqueadores de la etapa previa y disolver la lignina antes de pasar a la siguiente. Al terminar la última etapa la pasta se bombea a través de series de tamices y limpiadores para eliminar cualquier contaminante. Entonces se concentra y transporta al almacén.

La secuencia de blanqueo que se utiliza habitualmente para producir pasta kraft blanqueada para el mercado consta de cinco etapas y se conoce como CEDED. Cada una de las letras que componen esta denominación corresponde a una etapa y al elemento blanqueador que se utiliza en la misma (ver figura 3.9).

Agentes blanqueantes y condiciones para su empleo						
	Símbolo	Concentración del agente (%)	pH	Consistencia* (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
Cloro (Cl ₂)	C	2,5 - 8	2	3	20 - 60	0,5 - 1,5
Hidróxido sódico (NaOH)	E	1,5 - 4,2	11	10-12	≤ 80	1 - 2
Dióxido de cloro (ClO ₂)	D	≈1	0 - 6	10-12	60 - 75	2 - 5
Hipoclorito sódico (NaOCl)	H	1-2	9 - 11	10-12	30 - 50	0,5 - 3
Oxígeno (O ₂)	O	1,2-1,9	7-8	25 - 33	90 - 130	0,3 - 1
Peróxido de Hidrógeno(H ₂ O ₂)	P	0,25	10	12	35 - 80	4
Ozono (O ₃)	Z	0,5-3,5	2 - 3	35 - 55	20 - 40	≤ 0,1
Dióxido de azufre (SO ₂)	A	4-6	1,8 - 5	1,5	30 - 50	0,25
Ditiosulfato sódico (NaS ₂ O ₄)	Y	1-2	5,5 - 8	4 - 8	60 - 65	1 - 2
*Concentración de fibra en solución acuosa						

Figura 3.9.- Tabla de agentes utilizados en el proceso de blanqueo de la pasta papelera y sus condiciones para su empleo. Extraído de la Enciclopedia OIT (Organización Internacional del Trabajo)

Es decir, que en el proceso CEDED se utilizaría la siguiente secuencia de agentes:

1. Cloro(Cl₂)
2. Hidróxido sódico (NaOH)
3. Dióxido de Cloro (ClO₂)
4. Hidróxido sódico (NaOH)
5. Dióxido de Cloro (ClO₂)

Debido a los condicionantes ambientales referentes a las sustancias organocloradas en los vertidos de las fábricas de pasta de papel, con frecuencia se sustituye el dióxido de Cloro (ClO₂) por una parte de Cloro(Cl₂) utilizado en la primera etapa de blanqueo y se utiliza un tratamiento de oxígeno (O₂) antes de la primera extracción cáustica (C_DE_ODED). La tendencia actual en Europa y Norteamérica apunta a la completa sustitución del ClO₂ o eliminación de

ambos (ClO_2 y Cl_2). En lugar del ClO_2 se utiliza dióxido de azufre que se añade durante la etapa final del lavado para detener la reacción del ClO_2 y controlar el pH.

Las pastas al sulfito son generalmente más fáciles de blanquear que las pastas kraft por su menor contenido de lignina. Para muchas calidades de papel se utilizan secuencias de blanqueo cortas (CEH, DCEHD, P, HP, EPOP). Para pastas al sulfito de calidad disolvente hay que eliminar la lignina y la hemicelulosa lo que requiere secuencias más complejas.

Producción de papel y transformados:

Para producir pasta papelera, la suspensión de pasta se tamiza una vez más y se ajusta su consistencia (4 al 10%) antes de que esté preparada para la máquina. Entonces se extiende en una tela metálica móvil en el “extremo húmedo” de la máquina de pasta donde los operadores vigilan la velocidad de la cinta en movimiento y el contenido en agua. El agua y el filtrado se extraen a través de la cinta eliminando la humedad de la fibra.

La hoja de pasta pasa a través de una serie de rodillos rotatorios que escurren el agua y el aire hasta que su consistencia alcanza el 40-45%. Se hace entonces flotar la hoja a través de una serie de pisos de secadores de aire caliente hasta que la consistencia sea del 90 al 95 %. Finalmente, la lámina continua se corta en pliegos y se apila en balas que se comprimen, se emban y se empaquetan para su almacenamiento y transporte. También es frecuente que la lámina de papel se embobine tras un calandrado que alisa la superficie y reduce el espesor.

Los productos finales dependen del proceso de preparación de la pasta, así por ejemplo, la pasta mecánica que es relativamente frágil, se transforma en productos de un solo uso como papel prensa y papel de seda. La pasta kraft se transforma en productos de papel de uso múltiple como papel de escritorio de alta calidad, libros o bolsas para comestibles. La pulpa al sulfito que es fundamentalmente celulosa se puede utilizar en diversos productos finales: papeles especiales, rayón, película fotográfica... Las pastas mecano-químicas son excepcionalmente consistentes ideales para recipientes de cartón ondulado



Figura 3.10.- “Extremo húmedo” o inicio de la máquina continua de papel donde se ve la lámina de papel tendida sobre la rejilla y, en el extremo superior izquierdo de la imagen, los rodillos rotativos.



Figura 3.11.- “Extremo seco” o final de la máquina continua de papel donde aparecen las bobinas de papel.

Aditivos

Los aditivos que se añaden para lograr las características deseadas del producto final se añaden en el "extremo húmedo" o en el "extremo seco"(parte inicial y final de la máquina continua de papel respectivamente)

- Talco (extremo húmedo)
 - Evita la deposición y acumulación de la mezcla extraíble
 - Apresto(confiere más brillantez, más alisado, más opaco)
- Dióxido de titanio (extremo húmedo)
 - Pigmento (hoja brillante, mejora impresión)
 - Apresto(confiere más brillantez, más alisado, más opaco)
- "Alumbre" ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (extremo húmedo)
 - Precipita resina al encolar sobre las fibras.
 - Ayuda a la retención (fija aditivos a las fibras, mejora la retención de las fibras de la pasta)
- Resina (extremo húmedo)
 - Encolado interno (resistencia a la penetración de líquidos)
- Arcilla (caolín) (húmedo/seco)
 - Apresto(confiere más brillantez, más alisado, más opaco)
 - Pigmento o satinado de superficie (imparte color)
- Almidón (húmedo/seco)
 - Encolado interno (resistencia a la penetración de líquidos)
 - Aditivo de resistencia por vía seca (aumenta la resistencia, reduce el polvo de la superficie)
 - Ayuda a la retención (aditivos para encuadernación del papel, mejora la retención de la fibra de la pasta)
- Tintes y pigmentos (húmedo/seco)
 - Tintes ácidos, básicos o directos, lacas de color, CO_3Ca , puede incluir disolventes
- Latex (extremo seco)
 - Adhesivo (refuerza la hoja), aditivos para encuadernación del papel, tapado de poros
 - Impermeabilización (resistencia a la penetración de líquidos)

3.4.2.-Demanda eléctrica en el sector papel

A) Evolución de las principales magnitudes:

	Unidades	1993	1998	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Tasas de variación interanual						
										98/93	03/98	2004	2005	2006	2007	2008
Índice de producción	Índice	69,7	90,9	105,5	110,0	111,6	117,8	123,2	122,8	30,4	16,1	4,3	1,5	5,6	4,6	-0,3
Índice de precios	Índice	65,3	84,1	94,2	91,1	90,6	94,3	99,2	101,1	28,8	12,0	-3,3	-0,5	4,1	5,2	1,9
Total empresas	Número	205	218	230	291	235	255	238								
Empleo	Número	14.183	13.808	14.855	15.087	14.878	14.351	14.178								
VAB sector/VAB total Industria	(%)	0,5	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9								
Producción en términos nominales	M euros	1.490	2.716	4.020	4.049	4.219	4.571	4.968								
Producción en términos reales(**)	M euros	2.282	3.229	4.268	4.445	4.657	4.848	5.008								
Importación	M euros	--	--	3.092	3.219	3.185	3.437	3.723	3.240			4,1	-1,0	7,9	8,3	-13,0
Exportación	M euros	--	--	1.912	2.061	2.096	2.450	2.711	2.621			7,8	1,7	16,9	10,7	-3,3
Consumo aparente	M euros	--	--	5.200	5.207	5.308	5.558	5.981								
Resultado bruto explotación	M euros	-33	417	578	588	556	532	683								
Inversión material	M euros	79	284	238	369	242	623	551								
Gastos de personal/VAB	(%)	109,5	51,0	50,4	50,8	52,8	54,3	48,3								
Productividad laboral aparente	miles euros	24,3	61,6	78,4	79,2	79,2	81,2	93,0								

Fuente: Encuesta Industrial, IPI e IPRI del INE, Cámaras de Comercio y Subdirección Gral. de Estudios y Planes de Actuación del MITYC.

(**) Deflactado por el IPRI sectorial

Figura 3.12.- Datos de la evolución del sector papel entre los años 1993 y 2008. Extraído de las fichas sectoriales 2009 del ministerio de Industria, Turismo y Comercio

La actividad del sector papel ha ido creciendo los últimos años hasta el año 2008 donde el índice de producción se mantiene igual que el año anterior y el índice de precios crece con menor intensidad. Entre 2004 y 2006 se aprecia una leve caída del índice de precios. Además, a partir de 2004 el número de empresas y puestos de trabajo empieza a decaer. En 2006 hay un pequeño incremento del número de empresas que desaparece al año siguiente volviendo prácticamente al mismo número de empresas de 2005.

En cuanto al comercio exterior, tanto importaciones como exportaciones crecen con unas pendientes similares y vuelven a decaer a partir de 2007.

Viendo la evolución de estos datos todo apunta a un menor consumo de papel a nivel internacional a partir de 2007, implicando una menor fabricación del mismo y una menor actividad en el mercado exterior

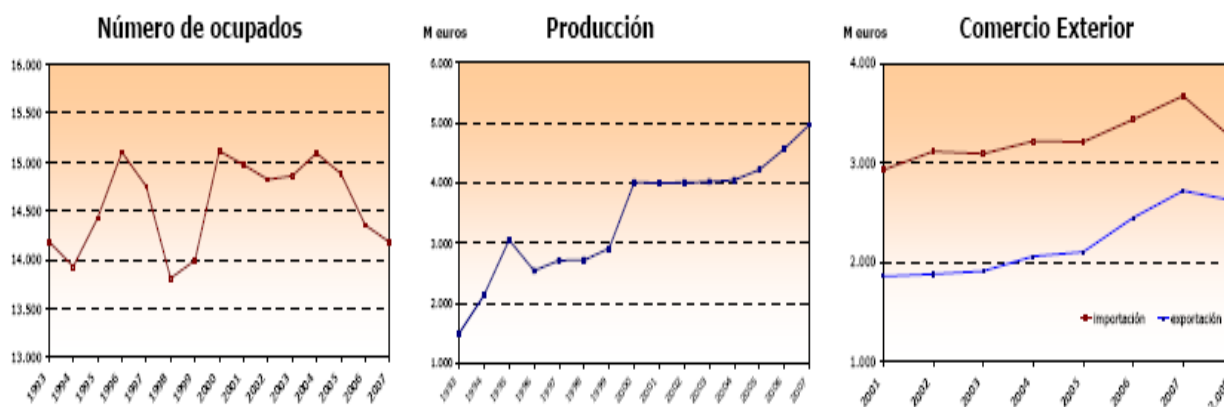


Figura 3.13.- Evolución de la ocupación, producción y comercio exterior en el sector papel desde el año 1993 hasta el año 2007 extraído de las fichas sectoriales 2009 del ministerio de Industria, Turismo y Comercio

B) Situación del sector:

- La actividad de este sector abarca la fabricación de pasta papelera, papel y cartón. La fabricación de papel es un proceso de alta tecnología por lo que requiere importantes inversiones en innovación por lo que la industria está asentada en su mayor parte en países desarrollados.

- España es el sexto productor de la Unión Europea, tanto en papel como en celulosa

- En España en 2009 había 113 plantas industriales: 14 de ellas son de celulosa y 99 de ellas son fábricas de papel.

- La producción de papel ha ido aumentando desde el año 2003, tras unos años de producción prácticamente constante que se venía dando desde el 2000, hasta el 2007. En el 2008 se produce un leve decrecimiento del 0,3%. La crecida de los últimos años se debe a la inversión en nuevas instalaciones principalmente en subsectores como papeles higiénicos y sanitarios, papeles para cartón ondulado y papel prensa.. En la figura 3.12, se representa la evolución del consumo eléctrico del sector

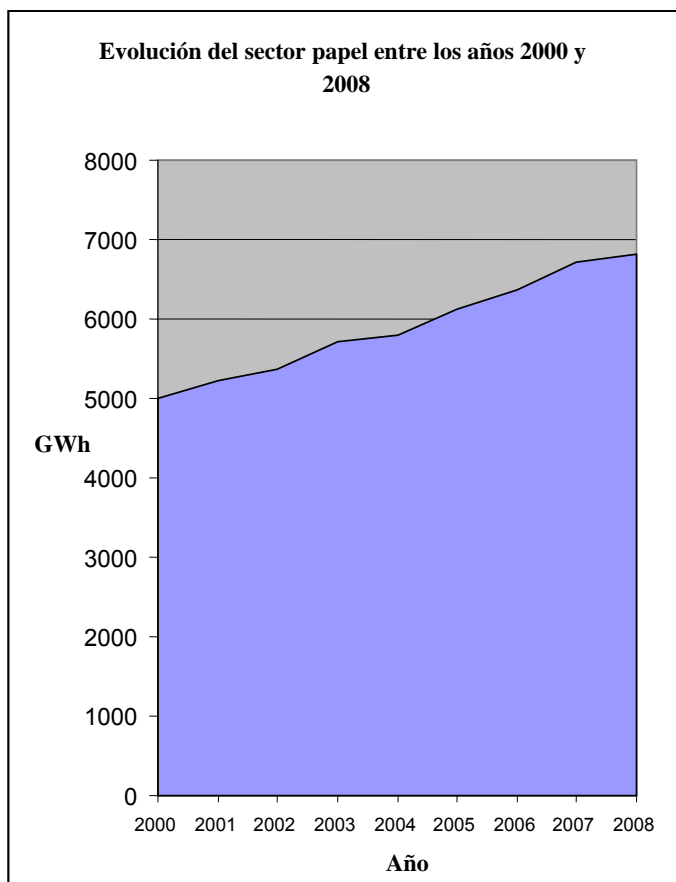


Figura 3.14.- Evolución de la demanda del sector papel desde el año 2000 al año 2008. Datos obtenidos de la página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio <http://www.mityc.es/energia/balances/Publicaciones/ElectricasAnuales/Paginas/ElectricasAnuales.aspx>

- Las curvas de importación y exportación se mueven de forma prácticamente paralela hasta 2007 donde se produce una caída de las exportaciones del 1% mientras que las importaciones caen un 12,7%

- La evolución de los mercados energéticos sigue siendo una de las mayores preocupaciones del sector, ya que condiciona fuertemente la rentabilidad de las empresas que lo componen. La compra de energía ante la desaparición de las tarifas industriales, el nuevo marco legal y económico de la cogeneración y los retos y oportunidades que plantea la biomasa son elementos que definirán el futuro del sector así como su capacidad de competir en los mercados internacionales

C) Demanda eléctrica en sector papel:

En el proceso de producción del papel, el consumo eléctrico es prácticamente continuo, como se aprecia en la siguiente gráfica:

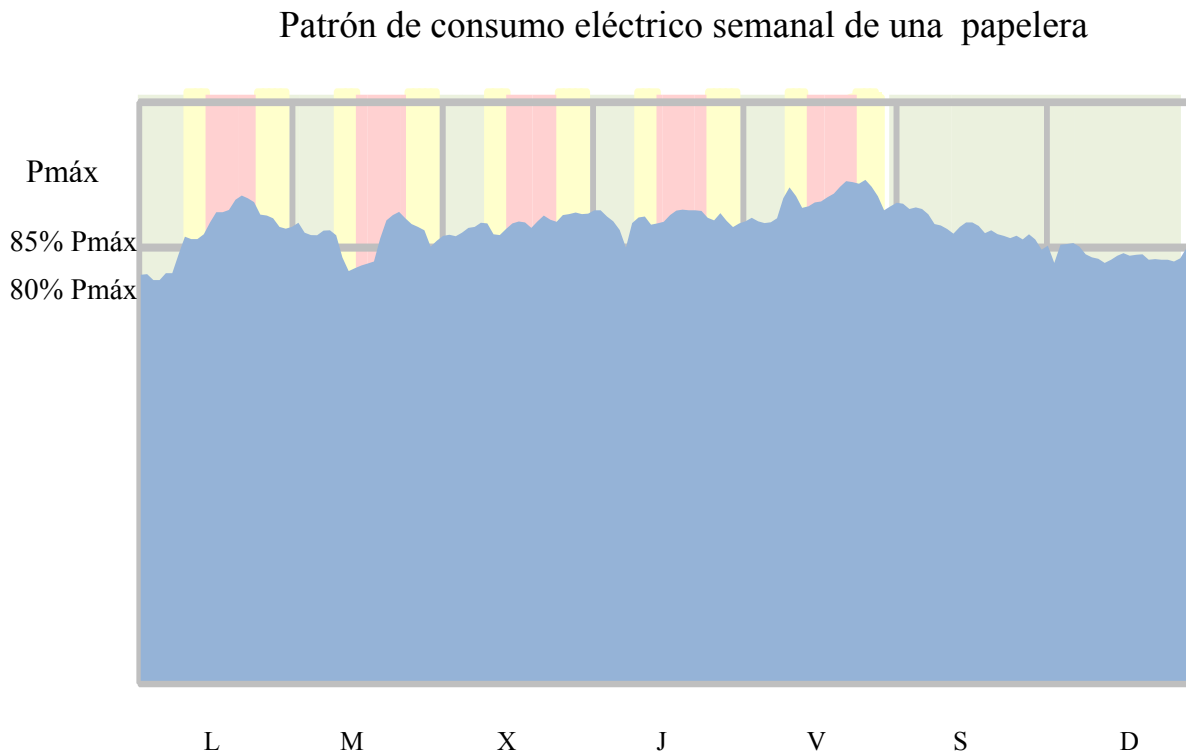


Figura 3.15.- Gráfico donde se muestra el consumo semanal de una papelera. En colores se muestran los periodos de tarificación: P1 rojo, P2 amarillo y P6 verde

Se puede decir que la curva de demanda eléctrica en este sector es independiente de la tarificación, ya que la forma es irregular tanto a lo largo de la semana, como a lo largo del día, con valores comprendidos entre el 80 y el 100% de la potencia máxima demandada. Esta curva es distinta de una semana a otra, pero tienen en común un descenso de actividad los fines de semana. Este sector suele utilizar cogeneración asociada al proceso productivo.

3.5.- Industria química:

3.5.1.- Introducción

La actividad de la industria química tiene que ver con la transformación de unas materias primas para obtener unos productos denominados Productos Químicos. Estos productos se dividirán principalmente en productos orgánicos e inorgánicos dependiendo de su naturaleza.

El sector de la industria química engloba una gran variedad de tipos de industria, por lo que se hace preciso clasificarla para su estudio. En nuestro caso, clasificaremos los sectores de industria química según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas CNAE-93, Epígrafe 24⁶. Es decir, una clasificación según la actividad económica ejercida

- **Fabricación de productos químicos básicos**
 - Fabricación de gases industriales
 - Fabricación de colorantes y pigmentos
 - Fabricación de productos básicos de química inorgánica
 - Fabricación de productos básicos de química orgánica
 - Fabricación de productos químicos orgánicos de origen petroquímico
 - Fabricación de otros productos básicos de química orgánica
 - Fabricación de abonos y compuestos nitrogenados fertilizantes
 - Fabricación de primeras materias plásticas
 - Fabricación de caucho sintético de forma primaria
- **Fabricación de pesticidas y otros productos agroquímicos**
- **Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares; tintas de imprenta y masillas**
 - Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares
 - Fabricación de tintas de imprenta
- **Fabricación de productos farmacéuticos**
 - Fabricación de productos farmacéuticos de base
 - Fabricación de preparaciones farmacéuticas y otros productos farmacéuticos de uso medicinal
 - Fabricación de especialidades farmacéuticas
 - Fabricación de otros productos de farmacia
- **Fabricación de jabones, detergentes y otros artículos de limpieza y abrillantamiento. Fabricación de perfumes y productos de belleza e higiene**
 - Fabricación de jabones, detergentes y otros artículos de limpieza y abrillantamiento
 - Fabricación de perfumes y productos de belleza e higiene
- **Fabricación de otros productos químicos**
 - Fabricación de explosivos y artículos pirotécnicos
 - Fabricación de explosivos
 - Fabricación de artículos pirotécnicos
 - Fabricación de colas y gelatinas
 - Fabricación de aceites esenciales
 - Fabricación de material fotográfico virgen y preparados químicos para fotografía

⁶ Existe una CNAE más actual, la CNAE del 2009, pero se ha utilizado la del 93 ya que es la utilizada en las fichas sectoriales 2009 de donde se ha obtenido buena parte de la información.

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

- Fabricación de soportes vírgenes para grabación
 - Fabricación de otros productos químicos
 - Tratamiento de aceites y grasas para usos industriales
 - Fabricación de otros productos químicos
- **Fabricación de fibras artificiales y sintéticas**

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

3.5.2.- Ejemplo de proceso en industria química: Fabricación del PVC

El PVC se obtiene a partir de una serie de procesos:

Obtención del cloro:

A partir de una electrólisis de la sal industrial. En esta electrólisis se produce la reacción $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2$. Es decir, con salmuera disuelta en agua obtenemos cloro, sosa caústica e hidrógeno.

El hidrógeno producido pasa por un proceso de secado antes de ser vendido a consumidores o es utilizado como combustible.

El cloro húmedo abandona la celda a 80°C y se procede a su secado. El cloro seco y sin impurezas se envía en su 95% a la planta de cloruro de vinilo. El 5% restante se utiliza para la fabricación de hipoclorito sódico.

3.5.2.1.-Procesos de electrocloración

Actualmente se aplican tres tipos diferentes de tecnología: Electrólisis con celda de amalgama de mercurio, electrólisis con celda de membrana y electrólisis con celda de diafragma. Las tres tecnologías coinciden en la industria del cloro, de modo que ninguna de ellas está en desuso por motivos técnicos, de seguridad, de salud o de medio ambiente. La tendencia actual es la de transformar las plantas que utilizan tecnología de mercurio a plantas con tecnología de membrana, por temas medioambientales.

Proceso de celda de membrana:

El ánodo y el cátodo están separados por una membrana por la que sólo pasan iones de sodio y algo de agua. La salmuera es de clorurada y recirculada. La sal sólida se suele utilizar para resaturar la salmuera. Después de la purificación por precipitación-filtración, la salmuera vuelve a ser purificada con un intercambiador de iones.

La solución cáustica sale de la celda con un 30% de concentración y, en una fase posterior del proceso, suele concentrarse al 50%. El gas de cloro contiene un poco de oxígeno y con frecuencia debe ser purificado por licuefacción y evaporación.

El consumo de energía eléctrica es la más baja de los tres procesos y la cantidad de vapor necesario para la concentración de la soda cáustica es relativamente pequeña (menos de una tonelada por tonelada de soda cáustica). Productores de cloro de toda Europa están desplazándose progresivamente hacia este método.

Celda de Membrana

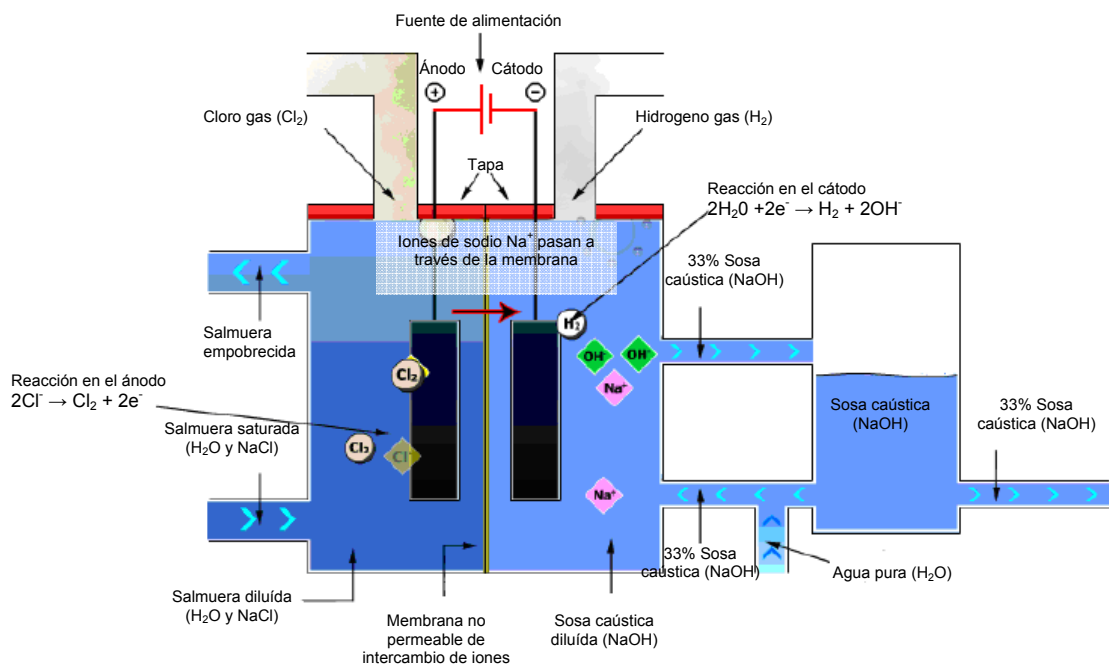


Figura 3.16.- Esquema del funcionamiento de la celda de membrana.

Proceso de celda de diafragma

En el proceso de la célula del diafragma de la zona del ánodo se separa de la zona del cátodo por un diafragma permeable. La salmuera se introduce en el compartimento anódico y fluye a través del diafragma en el compartimiento del cátodo.

Una salmuera cáustica diluida sale de la célula. La sosa cáustica por lo general debe concentrarse al 50% y elimina la sal. Esto se hace usando un proceso de evaporación con cerca de tres toneladas de vapor por tonelada de sosa cáustica. La sal de la salmuera separada cáustica puede ser utilizada para saturar la salmuera diluida. El cloro contiene oxígeno y con frecuencia debe ser purificado por la licuefacción y evaporación.

Celda de Diafragma

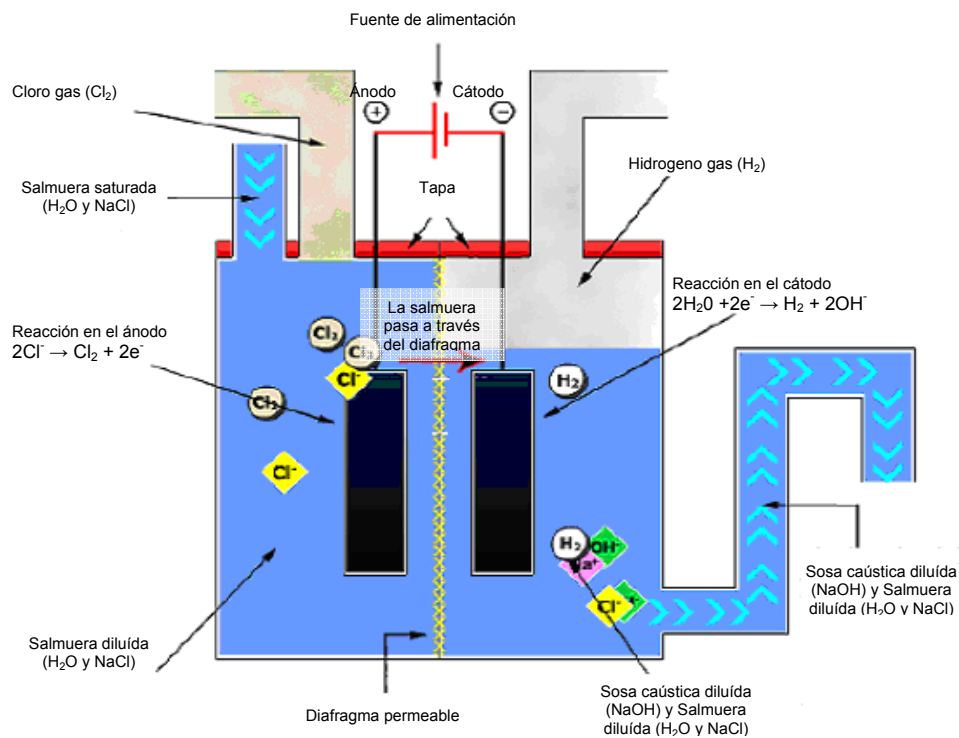


Figura 3.17.- Esquema del funcionamiento de la celda de diafragma.

Proceso de celda de mercurio

En el proceso de celdas de mercurio, el sodio forma una amalgama con el mercurio en el cátodo. La amalgama reacciona con el agua en un reactor separado llamado descomponedor donde se produce gas de hidrógeno y una solución de sosa cáustica al 50%.

A medida que la salmuera vuelve a circular normalmente, es necesaria sal sólida para mantener la saturación del agua salada. La salmuera es la primera declorada y se purifica mediante un proceso de precipitación-filtración.

Los productos son extremadamente puros. El cloro, junto con un poco de oxígeno, por lo general se puede utilizar sin mayor purificación.

De los tres procesos, en el proceso de mercurio se utiliza la mayoría de la electricidad, ya que, sin vapor, es necesaria para concentrar la solución cáustica.

En los últimos años y cada vez más, los productores de cloro se están moviendo hacia la tecnología de membrana, que tiene mucho menos impacto sobre el medio ambiente.

Celda de Mercurio

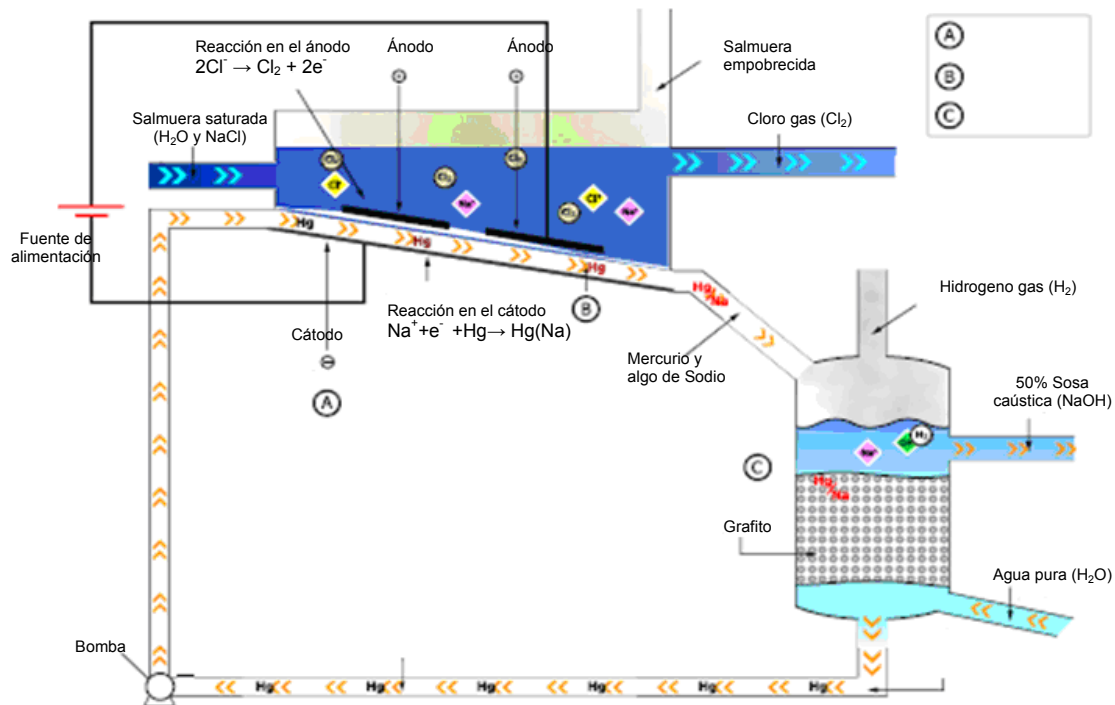


Figura 3.18.- Esquema del funcionamiento de la celda de mercurio, cada vez menos utilizada por el impacto del mercurio en el medio ambiente

Obtención de cloruro de vinilo:

Se obtiene a partir del cloro procedente de la unidad electrolítica, de etileno suministrado por una refinería, y oxígeno suministrado por una planta de licuación de aire.

El proceso tiene tres partes fundamentales:

La cloración del etileno: Se mezclan el cloro y el etileno produciéndose una reacción espontánea y exotérmica obteniéndose el 1,2-dicloroetano⁷.

La pirólisis del dicloroetano, en la que se produce la descomposición de la molécula formándose una molécula de cloruro de vinilo y otra de cloruro de hidrógeno.

La oxiclорación, en la que el cloruro de hidrógeno formado en la pirólisis se hace reaccionar con etileno y oxígeno, obteniéndose de nuevo 1,2 - dicloroetano para el proceso.

Obtención del PVC:

La polimerización del cloruro de vinilo se desarrolla mediante la unión de millares de unidades monoméricas en una cadena. Esta polimerización puede ser por emulsión o por suspensión.

En ambos procesos, los reactores se alimentan con el monómero cloruro de vinilo, aditivos, catalizadores y agua (la reacción de polimerización del PVC ocurre en un medio acuoso). Las diferencias entre los dos procesos están en el tamaño y en las características de los granos de PVC obtenido por lo que el uso de un proceso u otro depende de la aplicación que va a tener el PVC.

Al final de la reacción, se agotan los reactores y la mezcla de agua y PVC es separada del monómero no reaccionado. El PVC es centrifugado, secado y embalado. El agua es reciclada o tratada en una unidad de tratamiento de efluentes.

A continuación en la figura 3.19 se muestra un sencillo esquema resumen del proceso

⁷ El 1,2-dicloroetano ($C_2H_4Cl_2$) se presenta a temperatura ambiente como un líquido incoloro, viscoso, de olor muy penetrante, y se caracteriza por ser un compuesto nocivo e irritante por inhalación y posiblemente cancerígeno. Es una sustancia altamente inflamable y durante su combustión libera ácido clorhídrico y fosgeno a la atmósfera.

Generalmente viene preparado por síntesis directa, mezclado en la misma proporción etano y cloro gaseoso a una temperatura y presión standard, siendo la reacción catalizada por la luz ó por cloruro férrico.

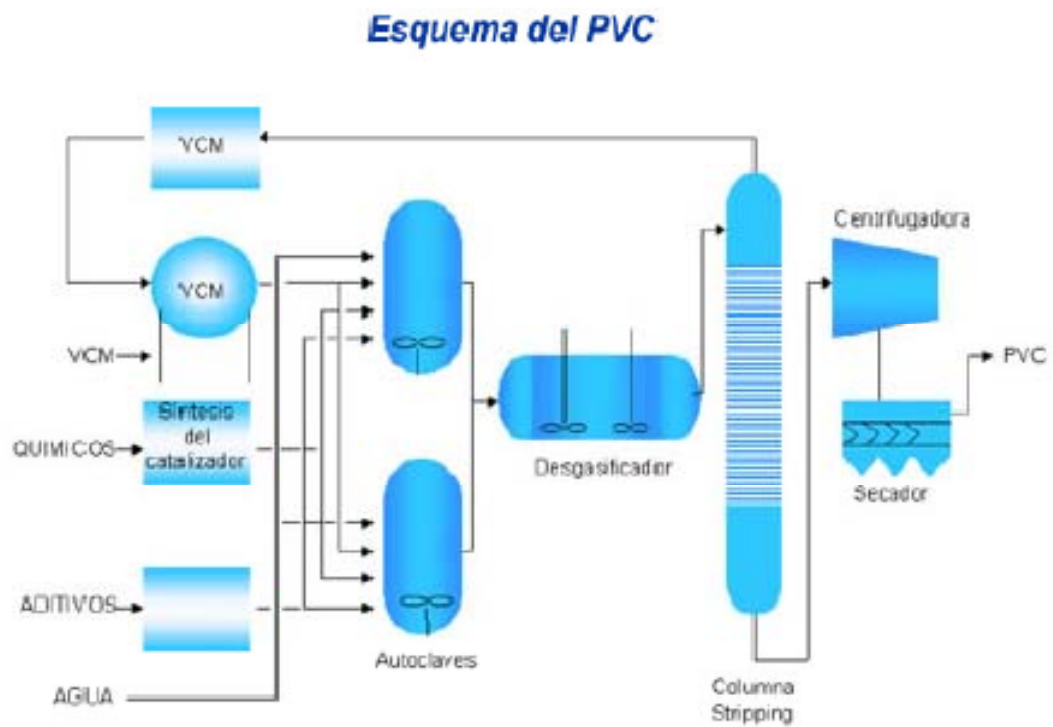


Figura 3.19.- Esquema del proceso de fabricación del PVC

3.5.3.-Sector químico

A) Evolución de las principales magnitudes

	Unidades	1993	1998	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Tasas de variación interanual						
										98/93	03/98	2004	2005	2006	2007	2008
Índice de producción	Índice	75,3	97,5	108,0	106,9	106,9	111,0	112,7	109,1	29,5	10,8	-1,0	0,0	3,8	1,5	-3,2
Índice de precios	Índice	79,8	91,2	101,3	104,6	109,9	114,4	117,0	123,3	14,3	11,1	3,2	5,1	4,1	2,3	5,4
Total empresas	Número	3.476	3.653	3.385	3.369	3.403	3.368	3.270								
Empleo	Número	136.575	130.231	138.226	135.312	137.003	136.115	136.979								
VAB sector/VAB total industria	(%)	8,1	8,4	7,9	7,7	7,7	7,4	7,4								
Producción en términos nominales	M euros	17.786	26.785	35.725	37.554	40.194	42.613	45.936								
Producción en términos reales(**)	M euros	22.288	29.372	35.257	35.905	36.578	37.252	39.259								
Importación	M euros	--	--	23.258	24.509	26.421	28.508	30.839	32.029			5,4	7,8	7,9	8,2	3,9
Exportación	M euros	--	--	13.081	15.919	18.476	20.135	22.344	23.261			5,6	16,1	9,0	11,0	4,2
Consumo aparente	M euros	--	--	43.901	45.144	48.139	50.986	54.431								
Resultado bruto explotación	M euros	1.485	3.677	4.243	4.516	4.780	4.797	5.142								
Inversión material	M euros	789	1.406	1.302	1.433	1599,5	1719,4	1909,5								
Gastos de personal/VAB	(%)	73,9	55,2	56,6	55,6	55	56	55								
Productividad laboral aparente	miles euro	41,1	63,1	70,6	75,2	78	81	84								

Fuente: Encuesta Industrial, IPI e IPRI del INE, Cámaras de Comercio y Subdirección Gral. de Estudios y Planes de Actuación del MITYC.

(**) Deflactado por el IPRI sectorial

Figura 3.20.- Datos de la evolución del sector papel entre los años 1993 y 2008. Extraído de las fichas sectoriales 2009 del ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Los índices del sector químico indica que se trata de un sector constante: los índices de producción en los últimos años no han tenido variaciones notables al igual que el número de empresas y el número de puestos de trabajo que oscila entre 135000 y 138000. El índice de precios aumenta pero sin saltos bruscos.

El comercio exterior sigue la misma línea: un lento pero constante crecimiento tanto en exportaciones como en importaciones.

En la figura 3.21 se grafican las evoluciones de puestos de trabajo, producción y comercio exterior

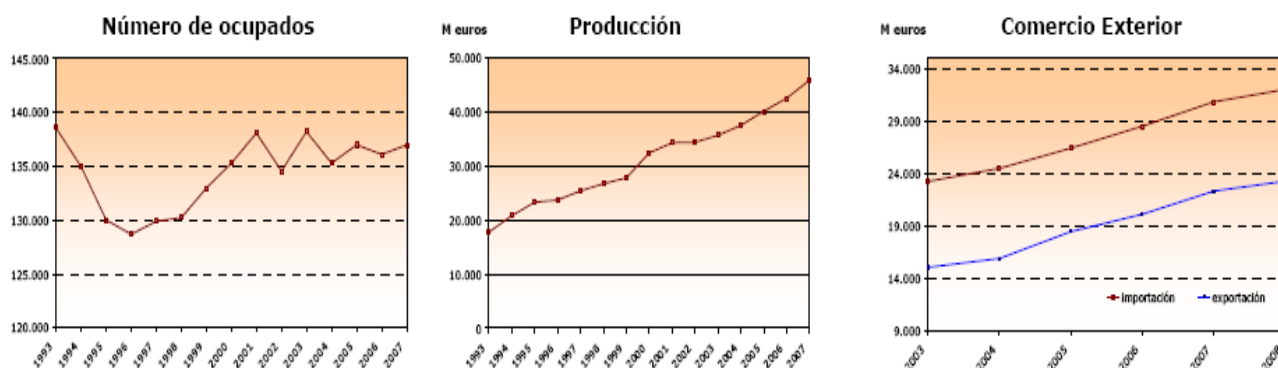


Figura 3.21.- Evolución de la ocupación, producción y comercio exterior en el sector químico desde el año 1993 hasta el año 2007 extraído de las fichas sectoriales 2009 del ministerio de Industria, Turismo y Comercio

B) Situación del sector:

- Los datos son del sector químico que incluye las actividades enumeradas en el CNAE-93, apartado 24.
- La producción aumenta año tras año, a pesar de que algunos subsectores han sido influidos por la crisis, como el de materias primas plásticas y el de química orgánica cuyas

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

producciones cayeron un 14% y un 8% respectivamente en el año 2007, otros sectores como el de la química de la Salud y la química para la Industria y el Consumo Final han aumentado su producción debido a su mayor valor añadido.

C) Demanda eléctrica en sector químico:

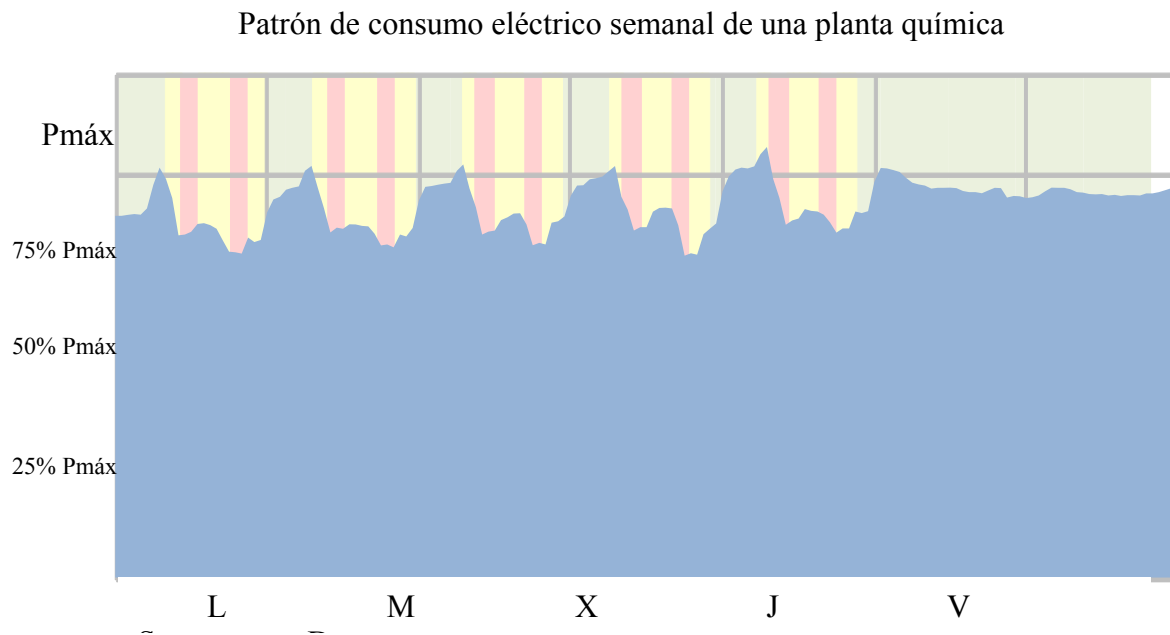


Figura 3.22.- Gráfico donde se muestra el consumo semanal de una planta química. En colores se muestran los periodos de tarificación: P1 rojo, P2 amarillo y P6 verde

El patrón sigue una forma regular los días laborables habiendo una mayor actividad por las noches aprovechando un precio de la energía más bajo.

Si ampliamos la franja correspondiente a un día laborable, por ejemplo el viernes donde se obtiene la punta más alta de la semana representada:

En la forma de la gráfica se puede observar que el consumo de lunes a viernes se sucede de forma prácticamente periódica. En la figura 3.23 se amplía uno de los días para ver con más detalle la curva a lo largo de las 24 h. Se ha tomado la energía total del día como el 100% por lo que el reparto por hora está entre el 4-5%:

- Durante la primera fase del día, hasta las 8 de la mañana, las plantas químicas trabajan a su ritmo más elevado posible aprovechando que la energía es más barata ya que nos encontramos en la zona denominada “valle” de la demanda global del sistema.

- Durante la hora siguiente, la demanda eléctrica decrece coincidiendo con el periodo de tarificación P2. En el caso del día ampliado, el consumo da un último picotazo antes de entrar en P1. Esto puede darse por una necesidad de producción más elevada cuyos beneficios compensen el precio más alto de energía.

- Las dos horas siguientes corresponden al período P1 y la actividad decae en un primer valle.

- En las horas centrales del día se aprovecha el período P2 para aumentar la actividad que termina en torno a las 18-19h donde comienza un nuevo período de tarificación P2; entonces el consumo llegará a su punto más bajo.

- A partir de las 21:00 h la actividad comienza a aumentar, primero suavemente en período P2, y luego con una mayor pendiente una vez que se entra en P6, en la última hora del día.

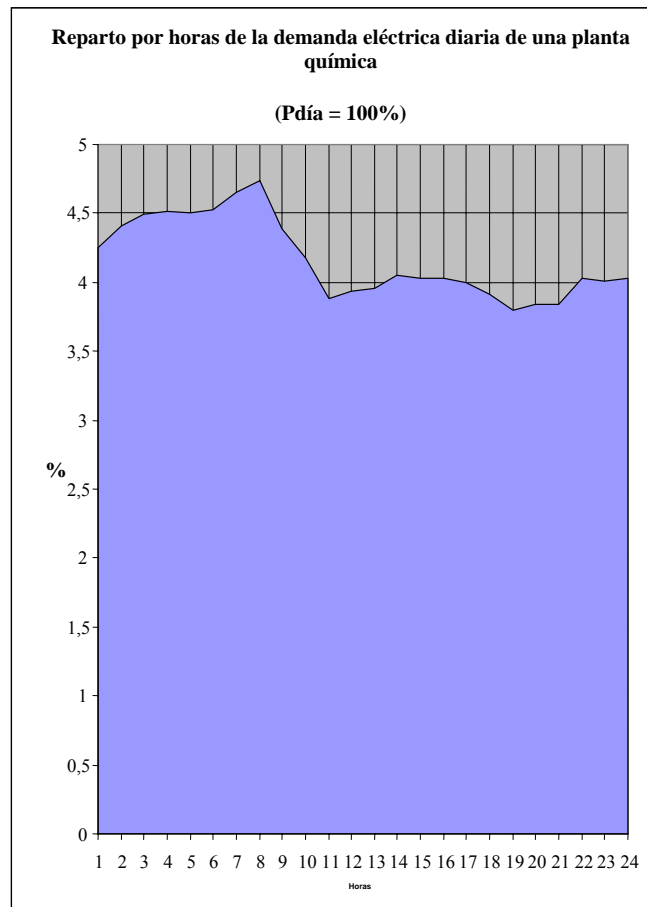


Figura 3.23.- Ampliación de la demanda de un día laborable (Viernes) de la semana representada en la gráfica 3.22

Ampliando el perfil del fin de semana:

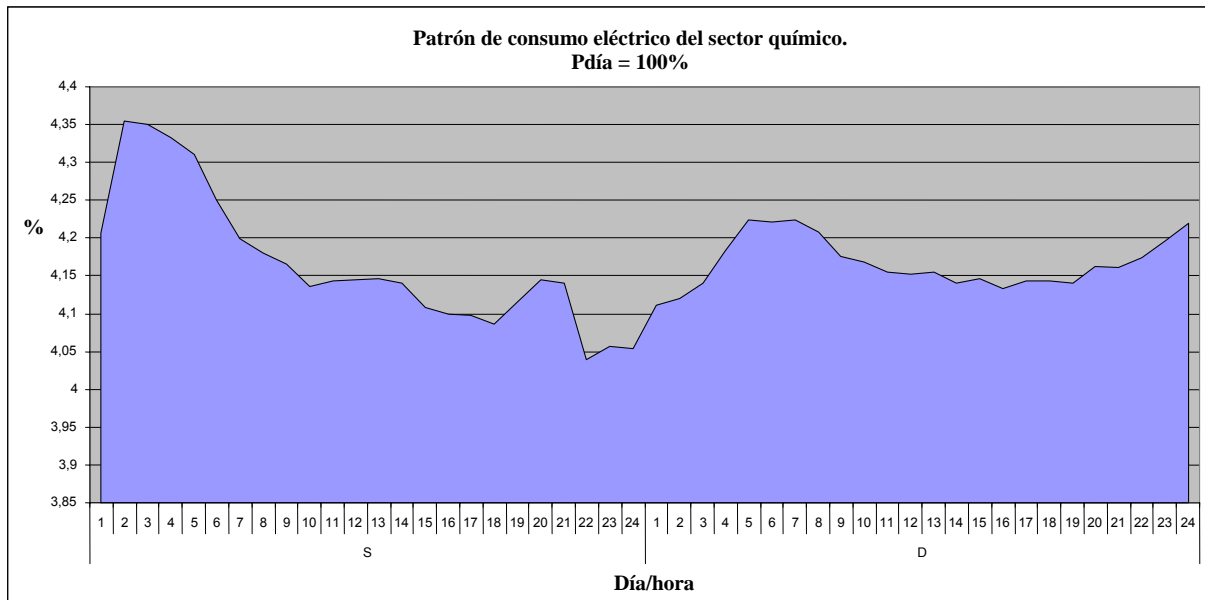


Figura 3.24.- Ampliación del sábado y domingo de la demanda de la semana representada en la gráfica de la figura 3.22

- Haciendo una ampliación sobre el fin de semana se observa un perfil no tan constante como el que aparecía en la figura 3.22; nótese en la escala representada que la diferencia entre el pico más alto y el más bajo de la curva es de un 0,3% de la demanda diaria.
- Esta ampliación nos permite apreciar que hay un mayor consumo por las noches que por el día, excepto las últimas horas del sábado que reflejan una leve disminución de actividad.
- Al estar durante todo el fin de semana en P6, estas ligeras variaciones se deben a otros factores independientes del precio de la energía.

IV.- SIMULACIÓN DEL EFECTO DE CADA TIPO DE DEMANDA

4.- Aplicación Informática

4.1.- Introducción:

La aplicación informática ha sido creada para simular los consumos típicos de las plantas industriales de los sectores estudiados. Se ha implementado mediante Visual Basic en Excel. Con esta herramienta se podrán representar los consumos de un determinado número de plantas industriales para ver qué efecto podría tener esta energía añadida en la curva de la demanda nacional.

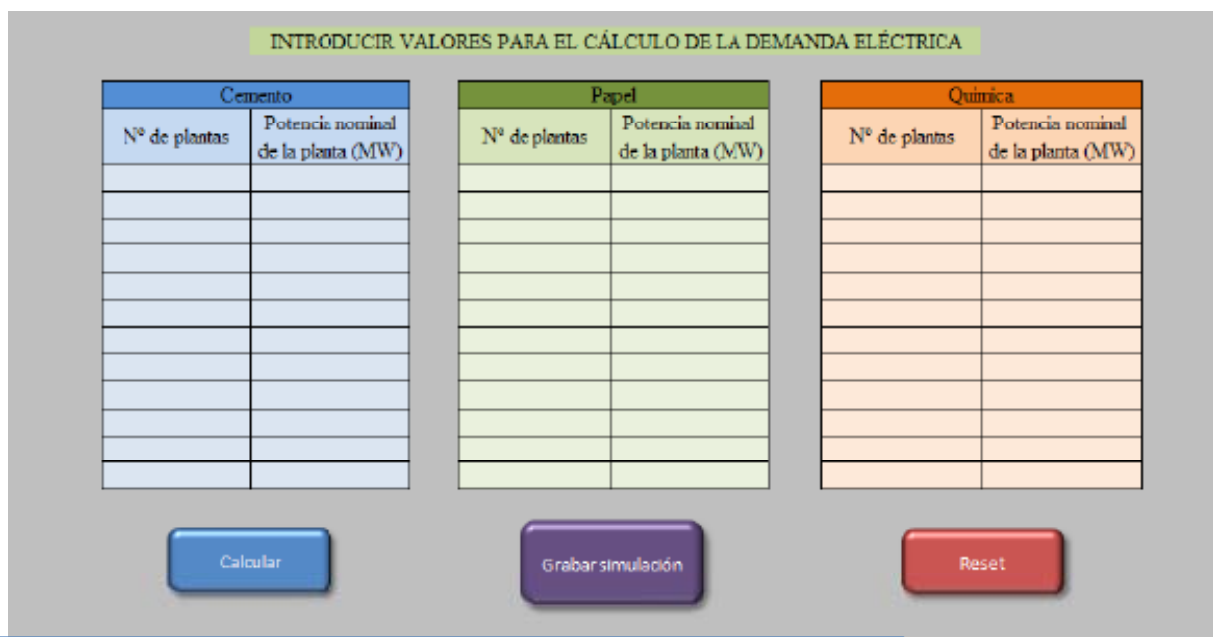
4.2.-Descripción y Funcionamiento:

El archivo Excel donde se ha implementado el simulador consta de 7 hojas:

Hoja 1: Entrada de datos

En esta primera hoja se presentan tres tablas, una para cada uno de los sectores, y se pide un número de instalaciones y las potencias de todas ellas en MW.

Debajo de estas tres tablas se encuentran situados tres botones: “Calcular”, “Grabar simulación” y “Reset”.



Cemento	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)

Papel	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)

Química	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)

Calcular

Grabar simulación

Reset

Figura 4.1.- Pantalla del simulador donde se introducen los datos

Comando “Calcular”:

Una vez introducidos los datos, al pulsar el botón calcular, se generan las gráficas con las magnitudes seleccionadas. Al pulsarlo también se limitan los valores de potencia introducidos a unos valores establecidos:

- Para el cemento $15 < P < 60$
- Para el papel $8 < P < 30$
- Para la química $P < 200$

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

Se ha limitado a estos valores para intentar trabajar con valores cercanos a la realidad. Si el valor introducido es demasiado grande, al pulsar calcular lo sustituirá por el límite superior del rango; si el valor de potencia es demasiado pequeño, lo sustituirá por el límite inferior.

Comando “Grabar simulación”

Con este comando se guarda, en la misma ubicación donde se encuentra el simulador, un nuevo fichero Excel que contiene las gráficas creadas.

Comando “Reset”

Con este botón conseguimos que los valores que hemos introducido desaparezcan de las tablas y se pongan a 0

Hoja 2: Cálculo de valores

En esta hoja se procesan los cálculos a partir del número de plantas y potencias que se han introducido, y de un patrón de consumos de cada sector

Hoja 3: Series de datos resultados

Aquí aparecen los resultados de los cálculos de la hoja 2. Estos datos serán los que se representaran en las gráficas.

Hojas 4,5 y 6: Gráficas de cemento, papel y química respectivamente.

En cada una de estas hojas aparecen las gráficas de cada uno de los sectores. Primeramente aparece una gráfica semanal bajo la cuál aparece calculada la energía consumida semanalmente y anualmente por ese sector con los datos introducidos. Después aparecen ampliadas las gráficas para cada uno de los días de la semana con su cálculo de energía consumida diaria bajo las mismas.

Hoja 7: Demanda agregada

Con el mismo formato que las tres hojas anteriores, en esta última página se muestra la suma de energía de los tres sectores.

4.3.- Ejemplo:

Para explicar mejor el funcionamiento del programa lo haremos con un ejemplo. Introducimos los datos que se observan en la figura 4.2 y pulsamos “Calcular”

INTRODUCIR VALORES PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Cemento	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)
25	30
5	60
12	45
8	15

Papel	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)
17	23
5	10
10	12

Química	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)
23	10
45	5
12	1

Calcular
Grabar simulación
Reset

Figura 4.2.- Pantalla del simulador donde se han introducido los datos para el ejemplo

Los valores que se obtienen en la hoja “Cálculo de valores” son los siguientes:

Cálculo de Valores

Día	Hora	Cemento	Papel	Química	producto nºcentral*P	multiplicador cemento	producto nºcentral*P	multiplicador papel	producto nºcentral*P	multiplicador química
L	1	0,006723717	0,005339741	0,005781586	750,0	1710,0	391,0	561,0	230,0	467,0
L	2	0,006668702	0,005347812	0,005777543	300,0	1710,0	50,0	561,0	225,0	467,0
L	3	0,006646902	0,005267822	0,00579158	540,0	1710,0	120,0	561,0	12,0	467,0
L	4	0,006667131	0,005269182	0,005804895	120,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	5	0,00655435	0,005358418	0,005795442	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	6	0,006361322	0,005359597	0,005898861	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	7	0,00659154	0,005611666	0,006274135	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	8	0,006507871	0,005841911	0,006546922	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	9	0,00515149	0,005806756	0,006363728	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	10	0,004827106	0,005807679	0,006063945	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	11	0,004641597	0,005871009	0,00546817	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	12	0,004292602	0,006025981	0,005478525	0,0	1710,0	0,0	561,0	0,0	467,0
L	13	0,004229834	0,006160906	0,00552182		1710,0		561,0		467,0
L	14	0,004105702	0,006160718	0,005647354		1710,0		561,0		467,0
L	15	0,004134955	0,006189878	0,005662155		1710,0		561,0		467,0
L	16	0,004384446	0,006326163	0,00563251		1710,0		561,0		467,0
L	17	0,00444566	0,006379944	0,005570604		1710,0		561,0		467,0
L	18	0,004472605	0,006345001	0,005382692		1710,0		561,0		467,0
L	19	0,004525133	0,006292553	0,005206048		1710,0		561,0		467,0
L	20	0,00496318	0,006128851	0,005196554		1710,0		561,0		467,0
L	21	0,005073286	0,006118564	0,005175709		1710,0		561,0		467,0
L	22	0,004983873	0,006080158	0,005431855		1710,0		561,0		467,0
L	23	0,005267711	0,005967279	0,005358823		1710,0		561,0		467,0
L	24	0,005520373	0,005945083	0,005392345		1710,0		561,0		467,0

Figura 4.3.- Pantalla “Cálculo de valores” para el primer día de la semana

Las tres columnas encabezadas por “Cemento”, “Papel” y “Química” contienen las potencias en tanto por uno. Estos datos componen el patrón de consumo de cada una de las fábricas.

En las columnas de la derecha aparecen los valores calculados a partir de los datos introducidos en la hoja anterior. En la columna “producto nº de central*P” se multiplica el número de plantas por la potencia. A la derecha de esta columna aparece el “multiplicador” de

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

cada uno de los sectores que no es más que la suma de todas las potencias de todas las plantas que más tarde se multiplicarán por el patrón de consumo.

En la figura 4.4 se representa la hoja “*Serie de datos resultados*”.

Día	Hora	Cemento	Química	Papel	Demanda Agregada
L	1	1467,86	454,99	392,66	2315,5
	2	1455,85	455,68	392,39	2303,9
	3	1451,09	448,86	393,34	2293,3
	4	1455,50	448,98	394,24	2298,7
	5	1430,88	456,58	393,60	2281,1
	6	1388,74	456,68	400,62	2246,1
	7	1439,00	478,16	426,11	2343,3
	8	1420,74	497,78	444,64	2363,2
	9	1124,62	494,78	432,20	2051,6
	10	1053,81	494,86	411,84	1960,5
	11	1013,31	500,26	371,37	1884,9
	12	937,12	513,46	372,08	1822,7
	13	923,42	524,96	375,02	1823,4
	14	896,32	524,95	383,54	1804,8
	15	902,70	527,43	384,55	1814,7
	16	957,17	539,04	382,54	1878,7
	17	970,53	543,63	378,33	1892,5
	18	976,42	540,65	365,57	1882,6
	19	987,88	536,18	353,57	1877,6
	20	1083,51	522,23	352,93	1958,7
	21	1107,55	521,35	351,51	1980,4
	22	1088,03	518,08	368,91	1975,0
	23	1150,00	508,46	363,95	2022,4
	24	1205,15	506,57	366,22	2078,0

Figura 4.4.- Serie de datos obtenidos mediante el programa.

En cada una de las columnas aparece el producto del “multiplicador” obtenido en la hoja “Cálculo de valores” por cada uno de los valores que componen el patrón de consumo. Estos valores se dan en MW.

A la derecha, en la columna “Demanda Agregada” se suman las potencias para cada hora de los tres sectores.

Los valores de estas cuatro columnas serán los que se representarán en las gráficas de las siguientes hojas.

Para cada uno de los sectores, se emplea una hoja de la aplicación. En esta hoja aparece una curva de consumo semanal seguido de una ampliación de cada día de la semana donde se aprecia más claramente las horas a las que se producen los cambios de consumo. Además, bajo cada gráfica aparece el consumo de energía. En la figura 4.5 aparece las curvas de la demanda agregada:

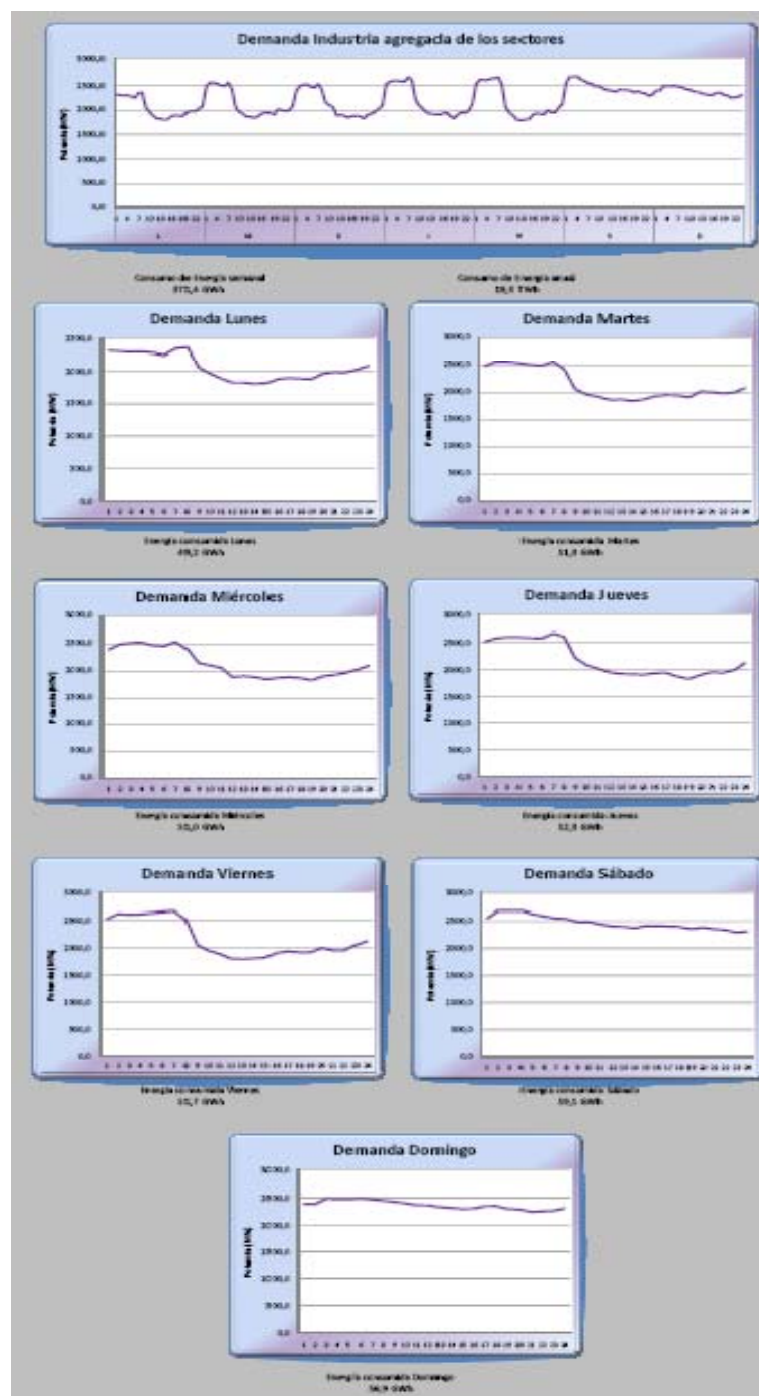


Figura 4.5.- Gráficas para la demanda agregada

En estas gráficas es donde se plasma el objetivo principal de la aplicación: ver la forma de consumo de las plantas industriales que hemos considerado y estudiar si favorece o perjudica al sistema eléctrico.

5.- Simulaciones

5.1.- Introducción

Con objeto de simular el consumo de este tipo de plantas industriales, se ha desarrollado una herramienta informática, mediante una aplicación de Visual Basic en Excel. Con esta aplicación se hará una simulación de cada uno de los consumos estudiados en el apartado 3. El objetivo es mostrar el efecto de estas curvas en la demanda de energía del sistema, cómo cambiaría la forma de la curva y si beneficiaría o perjudicaría al sistema eléctrico y qué consecuencias tendría para el mismo.

5.2.- Influencia de cada tipo de consumo en la demanda:

A continuación se mostrarán los consumos de cada uno de los sectores estudiados. Se introduce en la aplicación el número de plantas de cada tipo con una potencia basada en la típica de las instalaciones de cada sector. Se comparará cada curva con la demanda nacional, tanto en invierno como en verano, cuya forma se recuerda a continuación:

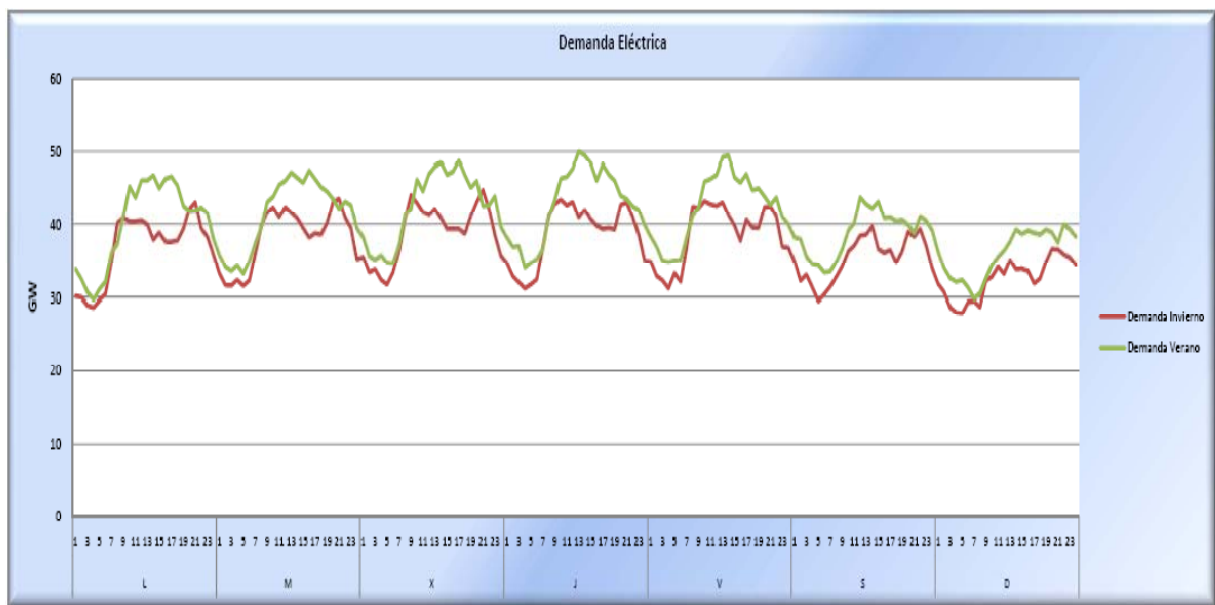


Figura 5.1.- Demanda de energía nacional actualmente

5.2.1.- Influencia del consumo de las cementeras

Según los datos obtenidos de las fichas sectoriales del año 2009, en España había 36 centros productivos de cemento. La potencia instalada de estas instalaciones se sitúa en torno a los 30MW. Se introducen en la aplicación un total de 36 plantas con potencias comprendidas entre el 50 y el 200% de esta potencia.

Cemento	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)
12	30
8	20
3	25
5	50
3	15
5	40

Figura 5.2.- Datos introducidos en la aplicación informática

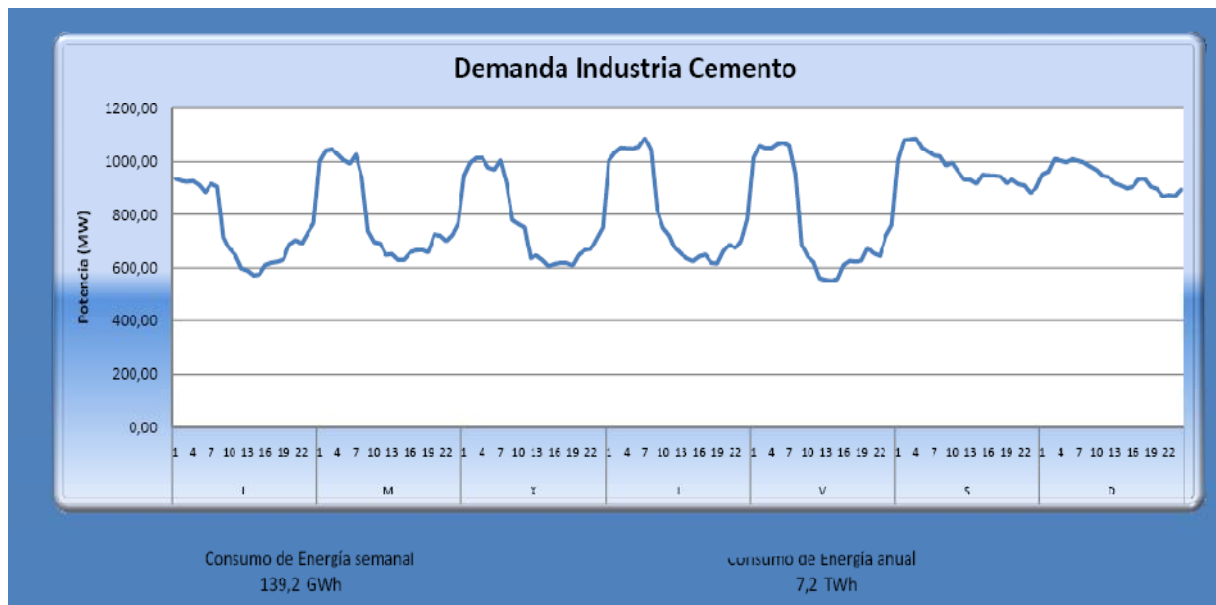


Figura 5.3.- Demanda de energía para una semana que supondrían 36 cementeras de potencias instaladas estimadas entre 15 y 60 MW

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

La curva es la analizada con anterioridad, con un consumo en período tarifario P6 aproximadamente el doble que en período P1.

El consumo de energía anual asciende a 7,2 TWh según la aplicación cuando en realidad el consumo de este sector ronda los 4 TWh. Esta diferencia se debe a dos motivos principalmente:

1. Se desconoce la potencia instalada exacta de cada instalación
2. Se ha considerado que las plantas trabajan a su máxima capacidad en períodos P6. Para realizar una simulación más precisa se tendría que conocer la carga de trabajo de cada planta para cada día lo cual no es posible.

Los efectos que produce este patrón de consumo son un aumento de la demanda a lo largo de la curva siendo mayor (casi el doble) este aumento en los valles, lo que favorece al sistema al producir un suavizado de la curva.

5.2.2.- Influencia del consumo de las papeleras

Introducimos ahora las 113 plantas papeleras que se registran en las fichas sectoriales 2009. La potencia instalada típica en estas fábricas es de 15MW, así que se estimaran potencias entre 8 y 30MW.

Papel	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)
15	30
40	15
36	20
22	10

Figura 5.4.- Datos introducidos en la aplicación informática

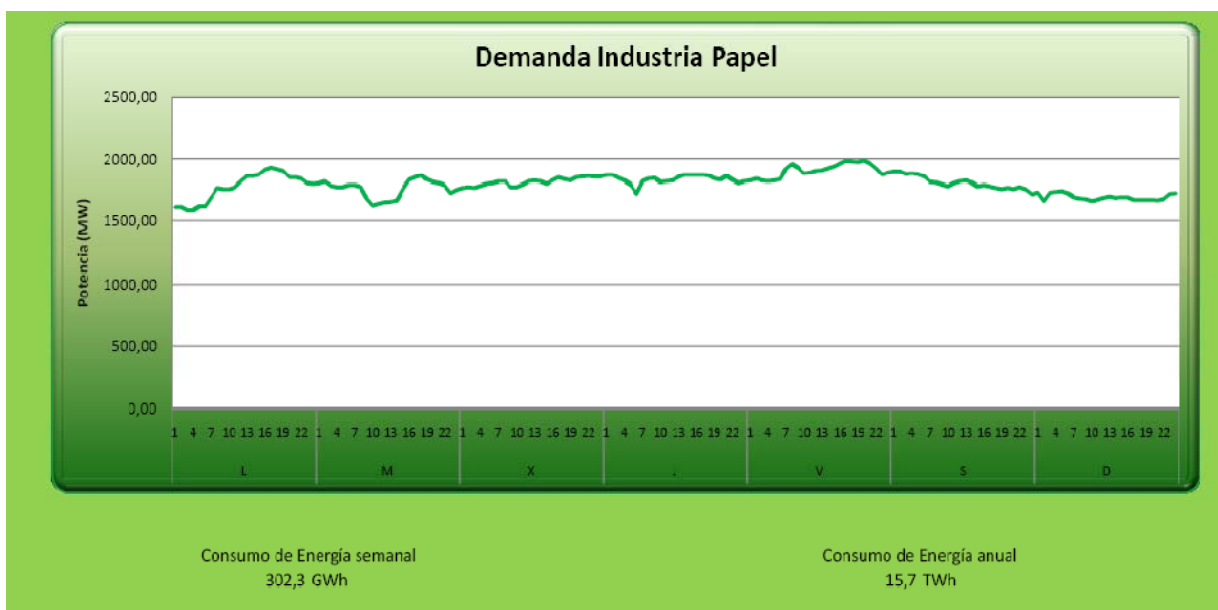


Figura 5.5.- Demanda de energía para una semana que supondrían 113 papeleras de potencias instaladas estimadas entre 8 y 30 MW

El patrón de consumo del sector papelerero podría considerarse de tipo plano. Este tipo de consumo incrementa la demanda nacional de forma prácticamente uniforme por lo que la forma de la curva no cambiará aunque sí sus valores que se incrementarán.

De nuevo hay una gran diferencia entre el valor de energía anual consumida por este sector (15,7 TWh) con el real que se sitúa en torno a los 7 TWh. Los motivos son los mismos que en el caso del cemento: se desconocen las potencias exactas y la carga de trabajo de las instalaciones. En este caso, al ser plano, se considera que todas las plantas trabajan a la máxima capacidad de trabajo durante todo el año lo cual no es cierto

5.2.3.- Influencia del consumo de las plantas químicas

Para el caso del sector químico, se desconoce el número de plantas dedicadas a este sector. Se conoce, según las fichas sectoriales 2009, que abarca 137000 puestos de trabajo directos y que la mayoría de las empresas tienen menos de 100 trabajadores por lo que consideraremos un total de 1500 instalaciones. La potencia de estas instalaciones depende de la actividad a la que se dediquen; se estimarán potencias entre 1 y 10 MW.

Química	
Nº de plantas	Potencia nominal de la planta (MW)
10	10
590	5
900	1

Figura 5.6.- Datos introducidos en la aplicación informática

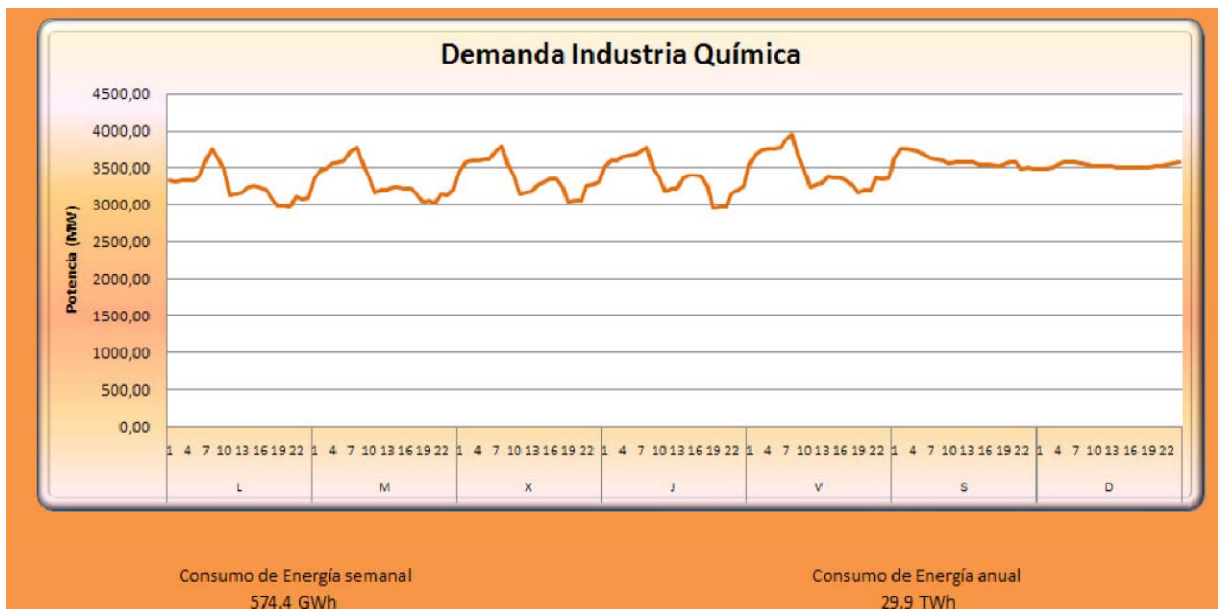


Figura 5.7.- Demanda de energía para una semana que supondrían 1500 plantas químicas de potencias instaladas estimadas entre 1 y 10 MW

La curva tiene un mayor consumo por las noches, en período tarifario P6, aunque las diferencias entre el consumo por el día y por la noche no son tan grandes como en el sector cemento. Los fines de semana el consumo es prácticamente constante.

Los niveles de energía consumida difieren de la realidad al haber un número incierto de instalaciones y de actividades diversas ya que el sector químico abarca una gran variedad de productos, por lo que el consumo eléctrico que precise cada proceso de producción será muy distinto al resto. Se ha estimado que estas instalaciones son de potencia relativamente baja.

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

5.3.- Influencia del consumo de plantas de distinto tipo conjuntamente

Se analiza ahora el caso en el que se introducen en el sistema eléctrico los tres casos anteriores simultáneamente: La suma de los tres sectores se representa en la figura 5.8

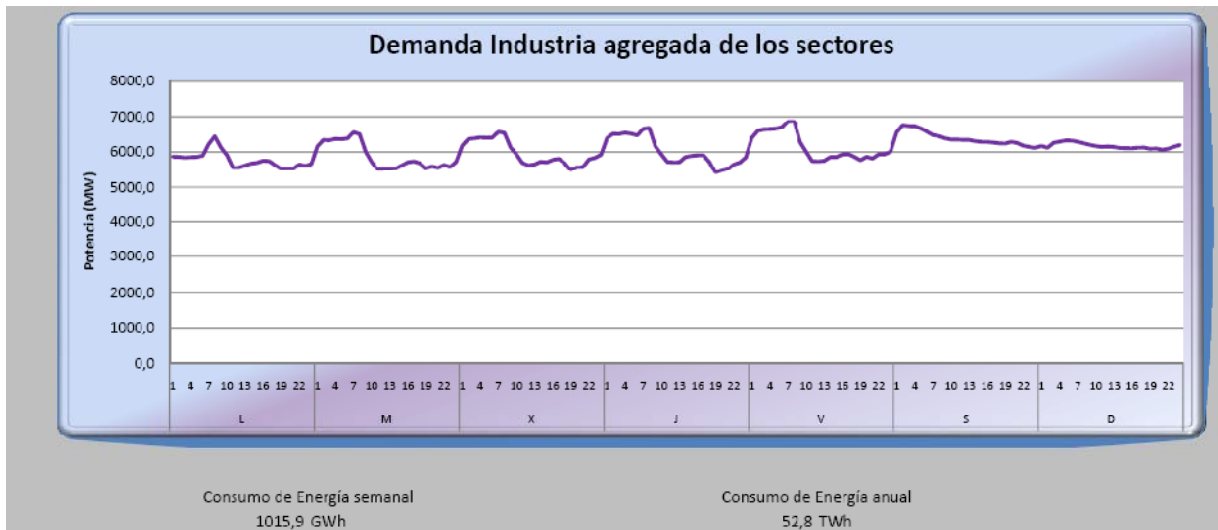


Figura 5.8.- Curvas de demanda de los tres sectores anteriores simultáneamente

La forma de la curva es similar a la curva del sector químico debido a que ésta es la mayor componente de la suma. Se observa que las puntas tienen una forma más cuadradas; este efecto se debe a la componente de las cementeras. El efecto de la componente papel es una elevación prácticamente constante a lo largo de la gráfica.

Dado que las tres componentes presentan un consumo constante en fin de semana, no se aprecian cambios de forma importantes.

Conclusiones:

El propósito del proyecto ha sido una familiarización en el mundo del consumo de energía eléctrica, a nivel general, y más concretamente en los sectores industriales del cemento, papel y químico.

Para entender mejor el consumo eléctrico, se ha comenzado por un análisis de los factores que afectan a la forma de la curva de consumo. Así, se ha entendido que la diferencia entre el consumo de invierno y verano se debe a factores como la estacionalidad y la temperatura, y que la diferencia entre días laborables y festivos se deben a la laboralidad. Todo esto lleva a la curva de la demanda eléctrica a ser un referente de la actividad económica e industrial del país.

Seguidamente se ha centrado el análisis en el consumo industrial de la península y se ha desglosado el mismo en los distintos sectores que lo componen. La industria consume alrededor del 40% del total de la demanda de energía eléctrica. Se ha comprobado que casi la mitad de este consumo, el 45 %, se reparte entre cuatro sectores: siderurgia, química, alimentación, bebidas y tabaco y el sector de metalurgia no férrea.

Entre todos los sectores, se ha centrado el estudio en los de cemento, papel y química. Después de una documentación mediante publicaciones en las páginas webs de fabricantes en cada uno de estos campos, se ha hecho una descripción de los procesos industriales típicos de cada sector con el fin de conocer que maquinaria se usa y poder comprender los procesos industriales y sus consumos.

Así, en el proceso de la fabricación del cemento, el producto pasa por una serie de molinos que funcionan con electricidad. Antes de pasar por estos molinos, el producto se acumula en unos contenedores dando la posibilidad de detener o iniciar el funcionamiento de los molinos a conveniencia sin afectar al resto del proceso. La conveniencia de que funcionen o no reside principalmente en el precio de la energía que depende del momento del día. Sabiendo que el precio es más bajo por la noche que por el día, es fácil entender por qué el patrón de consumo de las cementeras es mucho mayor en intervalos nocturnos en días laborables, y tiene un perfil continuo en fines de semana. Estos intervalos de tiempo tienen en común el precio del intervalo tarifario P6 donde la energía resulta más barata.

En el proceso de la celulosa y del papel, la actividad es continua por lo que el patrón de consumo es prácticamente plano. Las variaciones de energía van relacionadas con las variaciones de demanda del producto pero no guarda ninguna relación con las tarifas de energía eléctrica.

El sector químico cubre una amplia variedad de productos y, por lo tanto, de procesos de fabricación, cada uno de ellos con su propio patrón de consumo. En las curvas, que representan el consumo global del sector, se aprecia un mayor consumo por las noches por lo que hay una mayor parte del sector químico que modula. Aprovechando la descripción del proceso de fabricación del PVC, se ha explicado uno de los procesos más comunes del sector: la electrólisis. Este tipo de consumidores se denomina modulares.

Mediante el desarrollo de una aplicación informática y su posterior utilización, se ha tratado de simular los consumos de estos sectores para determinar cuánta energía consumen una cantidad determinada de cada tipo de planta y de qué forma se consume a lo largo del día. Una vez obtenida la curva resultante se puede determinar si va a favor o en contra del sistema: va a favor si rellena los valles y evita sumar energía demandada a las puntas.

El sistema eléctrico mejoraría su eficiencia disminuyendo las diferencias entre puntas y valles, es decir, que un consumo óptimo sería un consumo constante a lo largo del día. Para mejorar la eficiencia del consumo actual se intenta:

- Reducir el consumo mediante la mejora de eficiencia de equipos y procesos y mediante la concienciación del ahorro energético
- Desplazamiento del consumo de punta a valle. Mediante la discriminación horaria se fomenta el consumo en valle.

- Llenado de valles. Para ello se utilizan las centrales hidráulicas de bombeo (que consumen energía bombeando agua a un embalse superior que luego dejan caer para generar energía cuando se encuentran en punta), tecnologías de almacenamiento (por ejemplo, calefacción por acumuladores de calor), recarga de vehículos eléctricos o consumidores industriales que modulan sus consumos.
- Reducción del consumo en las horas punta. Mediante el servicio de interrumpibilidad (reducción de potencia activa hasta el valor de potencia residual requerida gestionado por REE) y la gestión automática de cargas.

La aplicación informática simula estas curvas al introducir el número de plantas y la potencia a la que trabaja. En este análisis se ha trabajado con las potencias nominales que suelen tener estas instalaciones y se ha considerado que siempre alcanzan su punto máximo de trabajo aunque esto no ocurre siempre. Para el caso del sector químico tiene el inconveniente adicional de no disponer del número exacto de instalaciones y al ser un sector que cubre muchas actividades, tiene gran variedad de procesos, cada uno de ellos con su propio patrón de consumo lo que dificulta su simulación. Es decir, dentro del sector químico, habrá un tipo de plantas que modulen y otras que no, unas fábricas que tengan una potencia instalada elevada y otras que funcionen con potencias relativamente bajas. Por el contrario, en los sectores del cemento y del papel el proceso es prácticamente el mismo para todas las variedades de producto final lo que hace el tipo de consumo en estos sectores sea uniforme en todas sus instalaciones.

La realización del presente proyecto fin de carrera ha servido para aplicar algunos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la titulación en un campo concreto como es la demanda industrial, y ha servido también para adquirir otros conocimientos complementarios sobre la demanda y los sectores estudiados, tanto en el ámbito tecnológico como el eléctrico. Se considera cumplido el objetivo de conocer su funcionamiento a través de sus hábitos de consumo eléctrico, aunque la información localizada no haya sido siempre la suficiente para profundizar tanto como se esperaba. En particular, un conocimiento más detallado del consumo de las fábricas hubiera servido para conocer cuánta energía se consume en cada parte del proceso y también conseguir que la aplicación simulara con más precisión las curvas de demanda de los sectores analizados. Pese a esto, los resultados que se han obtenido mediante la aplicación son de gran ayuda para considerar el impacto que supondría un número de plantas de estos sectores en la demanda nacional por lo que se considera cumplido el objetivo que se marcó al principio de la memoria.

Recursos de información:

- Página web de Red Eléctrica de España: <http://www.ree.es>
- “Proyecto INDEL- Atlas de la demanda eléctrica española”
http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/indel/atlas_indel_ree.pdf
- “Informe del sistema eléctrico español 2009”
http://www.ree.es/sistema_electrico/informeSEE.asp
- “Boletín mensual septiembre 2010” de Red Eléctrica de España
http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/boletin_mensual/peninsular/sep2010.pdf
- Página del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España
<http://www.mityc.es>
- “Fichas sectoriales 2009” <http://www.mityc.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/Fichas%20Sectoriales//09-fichas-sectoriales.pdf>
- Datos estadísticos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
<http://www.mityc.es/energia/balances/Publicaciones/ElectricasAnuales/Paginas/ElectricasAnuales.aspx>
- Real Decreto 661/2007 de 26 de mayo de 2007
<http://www.boe.es/boe/dias/2007/05/26/pdfs/A22846-22886.pdf>
- Ley 54/1997 http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1997-25340
- Página web de la Confederación Nacional de Energía <http://www.cne.es>
- <http://www.cne.es/cne/doc/consumidores/peajes.pdf>
- Oficemen <http://www.oficemen.com>
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)
http://www.ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6
- http://www.holcim.es/ESP/ES/id/1610659500/mod/4_1_1_0/page/editorial.html
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/8/55868-8.pdf>
- http://www.diariosur.es/prensa/20060809/malaga/clinker_20060809.html
- Página web de Aspapel (Asociación española de fabricantes de pasta papel y cartón) <http://www.aspapel.es/>
- <http://aula2.elmundo.es/aula/laminas/lamina1069937674.pdf>
- <http://www.uchile.cl/cultura/grabadosvirtuales/apuntes/papel.html>
- “Enciclopedia OIT” Volumen 3, cap. 72
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf>
- Vian Ortuño “Introducción a la química industrial”
- Registro estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes <http://www.prtr-es.es/Dicloroetano-12-DCE,15621,11,2007.html>

ANEXO A

Esquemas de los procesos de fabricación del clínker

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

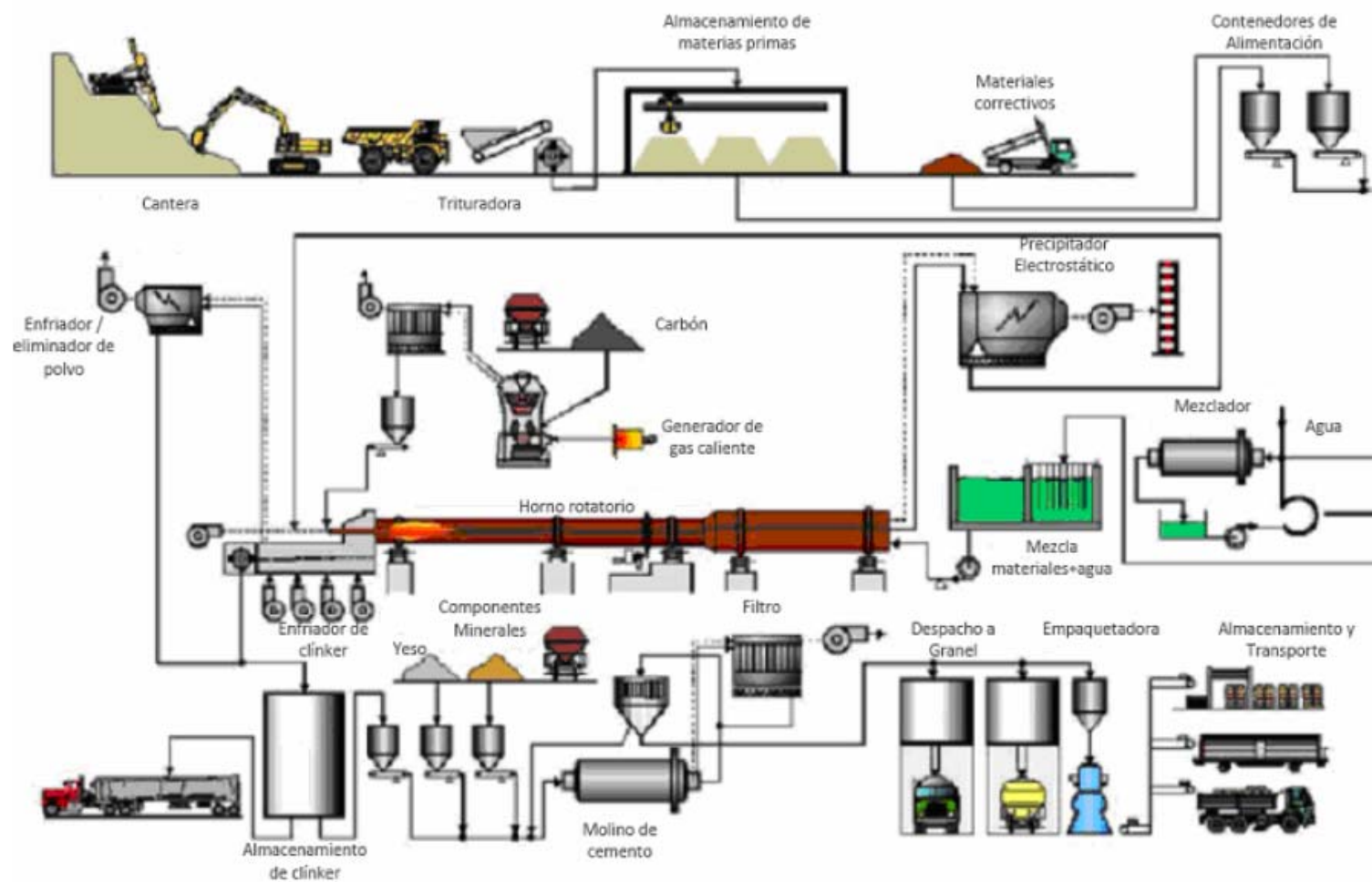


Figura A.1.- Esquema de fabricación de clinker por vía húmeda

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

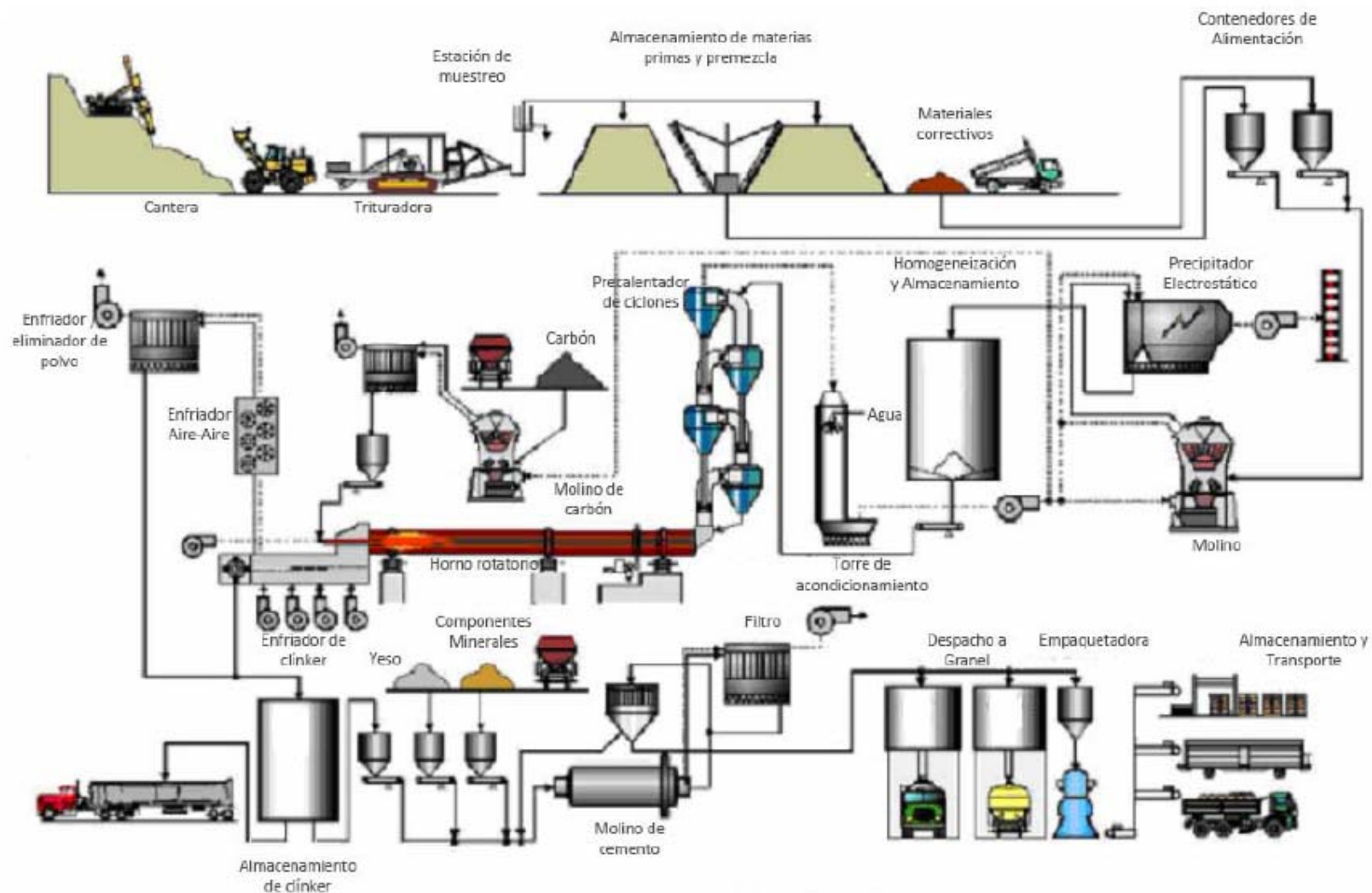


Figura A.2.- Esquema de fabricación de clinker por vía seca

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

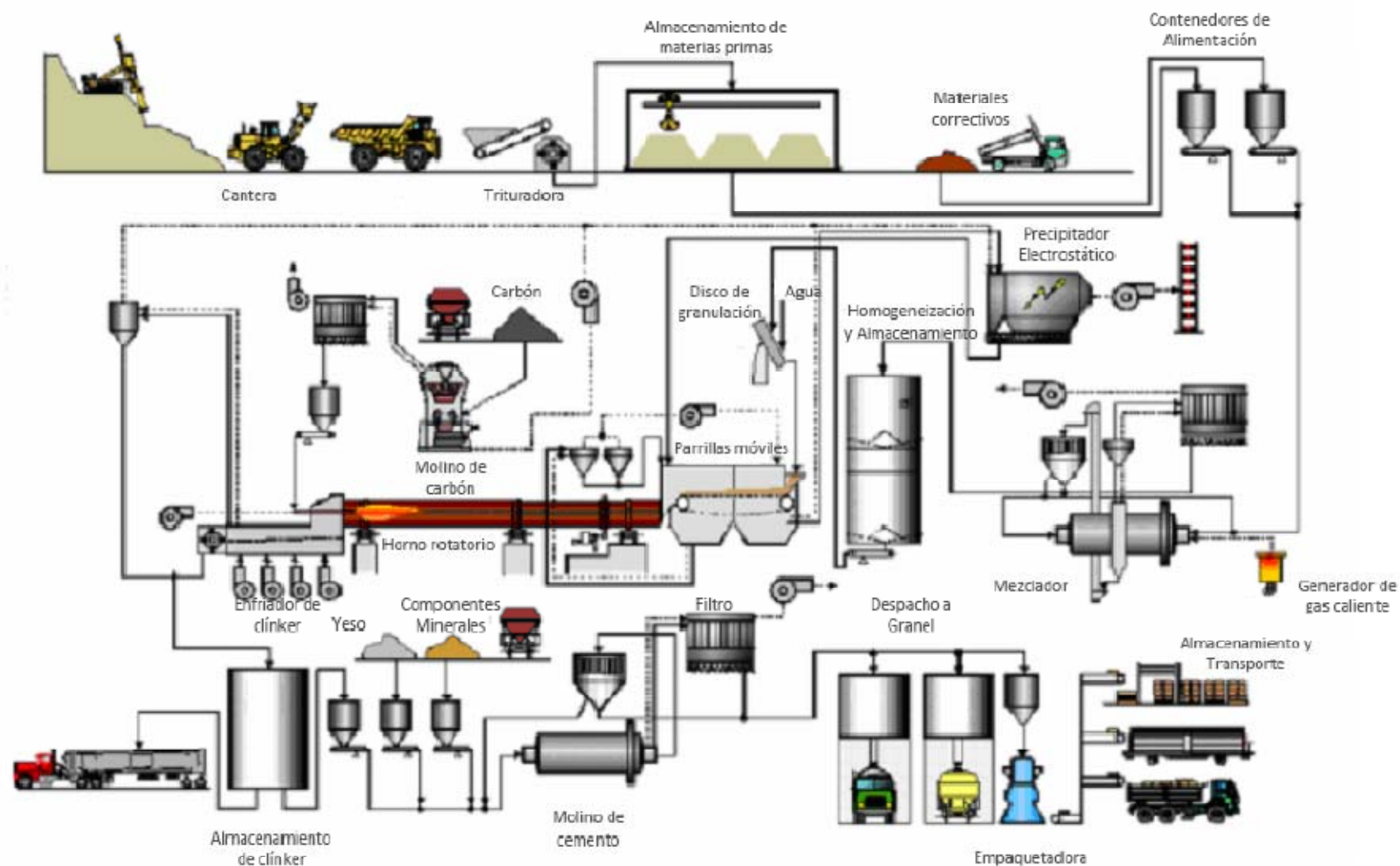


Figura A.3.- Esquema de fabricación de clínker por vía semi-seca

Consumo de energía eléctrica en el sector industrial: cemento, química y papel

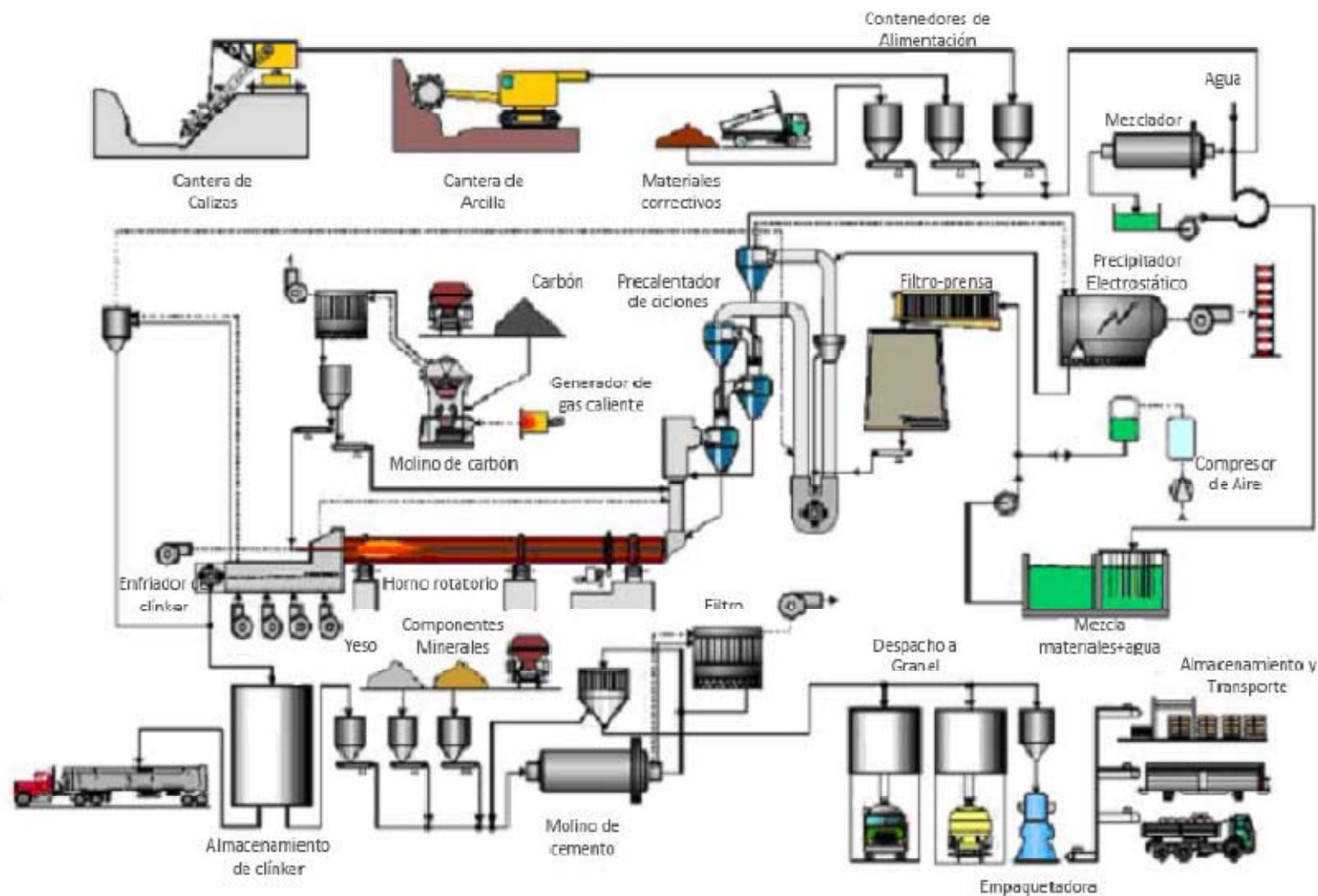


Figura A.4.- Esquema de fabricación de clínker por vía semi-húmeda